This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

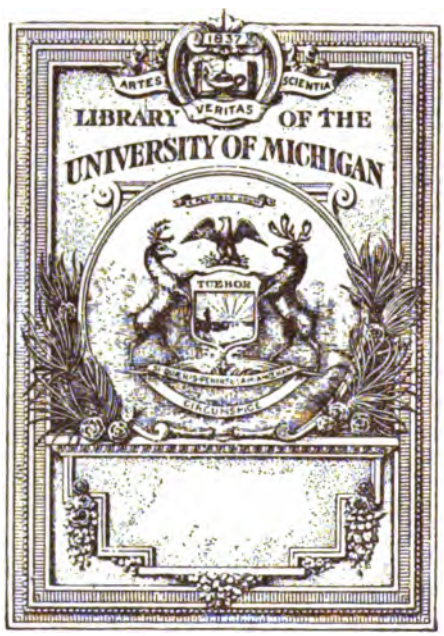
+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

B 1,067,536

Digitized by Google



Digitized by Google

QE
1
.S67

Digitized by Google

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

(BRUXELLES)

ANNÉE 1897

Tome XI

PRIX : 20 FRANCS

BRUXELLES

HAYEZ, IMPRIMEUR DES ACADÉMIES ROYALES DE BELGIQUE

112, rue de Louvain, 112

1897-1901

Digitized by Google

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

PROCÈS-VERBAUX des séances. — MÉMOIRES.

TRADUCTIONS et REPRODUCTIONS. — BIBLIOGRAPHIE.

Notes et Informations diverses.

Digitized by Google

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

(BRUXELLES)

PROCÈS-VERBAUX des séances. — MÉMOIRES.
TRADUCTIONS et REPRODUCTIONS. — BIBLIOGRAPHIE.
Notes et Informations diverses.

Tome XI

(Deuxième série, tome I)

ANNÉE 1897

BRUXELLES
HAYEZ, IMPRIMEUR DES ACADÉMIES ROYALES DE BELGIQUE
112, rue de Louvain, 112

Digitized by Google

Gen.

Digitized by Google

NOTA

Par suite de l'extension anormale de la période de publication des divers fascicules dont la réunion forme le volume XI (1897) du *Bulletin*, il est rappelé comme suit le contenu de chacun de ces fascicules et la date de leur publication :

Fascicule I.

Août 1897. — Mémoires : feuilles 1 à 9 (pp. 1 à 144).
Planche I.

Fascicules II-III.

Février 1898. — Mémoires : feuilles 10 à 20A (pp. 145-312).
Traductions et reproductions : feuilles 1 à 5B (pp. 1-75).
Statuts revisés : feuilles 1 et 2 (pp. I-XX).
Planches II à VII. — Tableau Renevier.

Fascicule IV.

Février 1901. — Mémoires : feuilles 20B à 24A (pp. 313-376).
Planches VIII et IX (réunies).
Procès-Verbaux : feuilles 1 à 13B (pp. 1-204).

Fascicule V.

Avril 1901. — Mémoires : feuilles 24B à 35 (pp. 377-555).
Procès-Verbaux : feuilles 14 à 16 (pp. 205-242).
Tables : feuilles A, B, C (pp. I-XLVIII).

120780

Digitized by Google

Digitized by Google

PROCÈS-VERBAUX

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

(BRUXELLES)

Tome XI

(Deuxième série, tome I)

ANNÉE 1897

BRUXELLES

HAYEZ, IMPRIMEUR DES ACADÉMIES ROYALES DE BELGIQUE

112, rue de Louvain, 112

Digitized by Google

COMPOSITION DU BUREAU ET DU CONSEIL

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

POUR L'EXERCICE 1897

Président :

M. A. Renard.

Vice-Présidents :

MM. L. Dollo, A. Houzeau, A. Rutot et X. Stainier.

Secrétaire général :

M. E. Van den Broeck.

Délégués du Conseil :

MM. G. Jottrand, Th. Gilbert, J. Hans et V. Jacques.

Trésorier :

M. Th. Gilbert.

Bibliothécaire :

L. Devaivre.

Membres du Conseil :

MM. J. Cornet, H. de Dorlodot, C. Klement, M. Mourlon, R. Storms et J. Willems.

Comité de publication :

MM. G. Jottrand, A. Houzeau et V. Jacques.

Commission des comptes :

MM. Béclard, Rabozée et Paquet.

Adresse pour la correspondance et les envois de publications :

Au **Secrétariat général**, chez **M. Ernest Van den Broeck**, place de l'Industrie, 39, à Bruxelles.

Adresse pour les mandats postaux et envois de cotisations :

A l'**Économat**, chez **M. le Dr Gilbert**, avenue Louise, 26, à Bruxelles.

Digitized by Google

PROCÈS-VERBAUX

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

A BRUXELLES

Tome XI — Année 1897

SÉANCE D'APPLICATIONS GÉOLOGIQUES DU 12 JANVIER 1897.

Présidence de M. **Cuvelier**, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à 8 h. 30.

Correspondance :

M. *Dollo* fait excuser son absence.

M. *Van Mierlo* prie la Société de bien vouloir comprendre sa carte des fonds de la mer du Nord dans la Collectivité de la Société à à l'Exposition de Bruxelles de 1897. — *Adopté.*

M. *Cornet* signale un article paru dans un recueil américain comme pouvant utilement être traduit pour paraitre dans les *Traductions et Reproductions*. Le bureau est chargé de la décision à prendre.

L'assemblée décide également l'impression intégrale du travail de M. Choffat sur les eaux de Lisbonne.

Digitized by Google

Élections :

Sont élus en qualité de membres effectifs :

M. Bailly, membre de la Chambre des Représentants, à Bruxelles.

M. E. Fichefet, membre de la Chambre des Représentants, à Bruxelles.

M. Houba, secrétaire communal de Laeken.

Est élu en qualité de membre associé regnicole :

M. L. Devaivre, secrétaire de la Direction du Service de la Carte géologique.

Communication du Bureau :

M. le Secrétaire fait savoir qu'une manifestation en l'honneur de notre confrère M. Petermann, directeur de la Station agronomique de Gembloux, à l'occasion du vingt-cinquième anniversaire de la fondation de la Station, aura lieu prochainement.

L'assemblée décide qu'une lettre de félicitations et de haute sympathie sera envoyée à M. Petermann.

Communications des membres :

M. le *Président* donne la parole à M. le Secrétaire pour la lecture du résumé de la communication de M. *Otto Lang,* intitulée :

Contribution à l'étude de la formation des cavernes.
(*Résumé.*)

M. Flamache, dans sa communication ayant pour titre : *Sur la formation des grottes et des salles souterraines* (1), déclare que la théorie de la formation des cavernes par l'action chimique de l'eau pénétrant dans les roches, c'est-à-dire par dissolution, est erronée, et s'efforce de la remplacer par la théorie de l'érosion mécanique.

Dans son opinion, les cavernes doivent leur existence aux mêmes facteurs que les vallées de la surface terrestre.

L'attribution à l'érosion mécanique, d'un rôle principal dans la formation des cavernes et non pas d'un rôle accessoire tel que, parfois,

(1) Bull. Soc. belge de géologie, *Mém.*, t. IX, p. 355.

Digitized by Google

l'élargissement de ces cavités, n'est pas une thèse tout à fait nouvelle; mais deux objections graves s'opposent à son admission : la première est le fait que les cavités types ne se présentent que dans certaines roches sensibles à l'action chimique de l'eau et à celle des réactions qui en résultent; la seconde est le doute bien fondé sur la possibilité de l'érosion par l'eau seule, non encore chargée de matières minérales en suspension ou entraînées, qui sont l'outil de l'érosion (sable plus ou moins gros, graviers, cailloux, galets, etc.).

Des fissures étroites de roches ne fournissent ni l'espace nécessaire ni l'occasion propice à l'action de ces outils. L'action érosive mécanique exige l'existence préalable de cavités qu'elle est incapable de creuser dans des roches en général encore compactes ou parfois présentant seulement des fentes, qu'elle ne peut contribuer à élargir.

Si M. Flamache n'est point satisfait par la théorie de la formation des cavernes par dissolution chimique, c'est par suite de malentendus évidents qui servent de base à sa critique, qu'il déclare inattaquable.

C'est ainsi que M. Flamache paraît admettre que, par unité de surface de roches, la quantité d'eau pénétrante est toujours identique pour une même roche, alors qu'en réalité la quantité d'eau qui parcourt les veines du réseau de pénétration est excessivement variable.

A ces différences de quantités s'ajoutent, pour modifier la vitesse d'écoulement dans chaque veine, des différences dans la dimension, la forme et l'inclinaison des fissures.

Dans l'appareil construit par M. Flamache pour servir à ses expériences d'écoulement et de dissolution, il ne reproduit qu'un seul des différents cas qui se rencontrent dans la nature en quantités innombrables : c'est celui d'une vitesse d'écoulement très faible.

La rapidité des particules d'une eau de pénétration, toutes indépendantes l'une de l'autre dans le temps et dans l'espace, varie à l'infini, et une même veine d'eau filtrante marche plus ou moins vite suivant que les circonstances ambiantes la retardent ou l'accélèrent.

Une pénétration très rapide peut amener, à de très grandes profondeurs, de l'eau chargée d'acide carbonique d'action très énergique.

M. Flamache, en outre, ne prend pas en considération les suites immédiates de la formation des cavités, c'est-à-dire les écroulements et la fissuration des roches. La plupart du temps, les grandes chambres, halles ou salles des cavernes, doivent leur hauteur parfois étonnante, non pas à l'action dissolvante directe, mais à la chute de masses rocheuses dont les soutiens ont été enlevés par dissolution; les monceaux de débris qui encombrent le sol des cavernes en sont la preuve.

Digitized by Google

Cette coopération des ruptures d'équilibre, des cassures et des éboulements à la formation des cavernes — je saisis cette occasion de le faire remarquer — n'a pas été, jusqu'ici, prise en suffisante considération (1) dans notre terminologie, alors qu'il est des cas où elle est de la plus haute importance, notamment lorsqu'il s'agit des cavernes de montagnes, où dominent les grandes dimensions suivant la verticale.

Que de semblables cavités puissent être dues à la dissolution seule, je veux bien l'admettre; mais je voudrais les voir désigner par des noms spéciaux comme *Schacht* (puits) ou par le nom typique de *Schlotten* (cloches), lorsque le développement en hauteur domine et qu'elles sont terminées vers le haut en forme de voûte; de sorte qu'on ne peut avoir recours que très difficilement à l'hypothèse d'une action latérale des courants d'eau pour expliquer leur élargissement à la base; sans compter que dans toutes ces cloches fermées, le monceau de blocs éboulés couvrant le sol est présent et prouve à l'évidence la formation par écroulement.

L'exposé de la théorie de la formation par dissolution m'amène finalement à faire remarquer que la dissolution des roches ne se borne pas à amener, dans certaines circonstances, la formation de cavités de très grandes dimensions, mais séparées l'une de l'autre, et des gorges ou vallées qui en dérivent, mais qu'elles peuvent encore produire des ruptures d'équilibre sur des surfaces terrestres très étendues et, par la suite des temps, des dommages agricoles d'une importance colossale.

J'en donne un exemple dans les perturbations et éboulements du sol qui se sont produits à Eisleben dans ces dernières années.

M. le *Président* donne ensuite la parole à M. *X. Stainier* pour faire sa communication intitulée :

Du mode de formation des cavernes. Examen de la théorie de M. Flamache.

M. *Stainier*, s'aidant de nombreuses figures au tableau, montre d'abord qu'il existe une foule de cas connus où la théorie de l'érosion mécanique est impossible à appliquer. Elle est notamment inapplicable à la grotte de Han et à celle de Rochefort. D'autre part, M. Flamache donne pour argument qu'il n'existe pas, dans les cavernes, de culs-de-

(1) Notre collègue le commandant *J. Willems*, toutefois, dans un compte rendu de la Session extraordinaire de 1893 (voir *Bull.*, t. VII, Mém., pp. 307, 319, 320, etc.), a *vivement* insisté sur ces actions. (*Note du Secrétariat.*)

Digitized by Google

sac également incompatibles avec la théorie de l'érosion mécanique. Or, en réalité, les culs-de-sac sont *extrêmement nombreux* dans les cavernes, et presque toutes les petites cavernes en possèdent.

Les orifices de sortie des cavernes sont presque toujours beaucoup plus larges que les entrées; de même, à l'intérieur, les galeries sont remplies de rétrécissements et d'expansions, également en contradiction avec la théorie de M. Flamache.

Dans une seconde partie, M. *Stainier* montre comment se fait l'attaque de la roche calcaire par les eaux chargées d'acide carbonique. Il montre que les cavernes ne peuvent se former que dans les calcaires purs, attendu que pour ce qui concerne les calcaires impurs et les dolomies, les résidus insolubles de l'attaque de la roche bouchent les fissures et empêchent la continuation du phénomène.

Enfin, M. *Stainier* montre que le creusement des cavernes est un phénomène probablement quaternaire, dû à la présence d'eaux beaucoup plus abondantes que de nos jours, et qu'actuellement les cavernes, comme les vallées de notre pays, sont plutôt en voie de comblement par sédimentation qu'en voie de creusement. — *Vifs applaudissements.*

M. *Van den Broeck* déclare se rallier complètement à ce que viennent de dire MM. Lang et Stainier.

M. *Flamache* reconnaît que la manière de voir exprimée par M. Stainier comprend quantité d'arguments de haute importance. Il n'a, du reste, jamais nié l'action dissolvante de l'eau chargée d'acide carbonique sur le calcaire, son expérience le prouve, et, de plus, il a toujours fait une distinction complète entre les eaux filtrantes et les eaux d'engouffrement. C'est parce qu'on semblait attribuer toute l'action dissolvante, à grande profondeur, aux eaux filtrantes qui, par leur faible vitesse, devaient rapidement perdre leur action dissolvante, qu'il a cru nécessaire de protester et de présenter des vues nouvelles. Évidemment, il y a eu des malentendus dans la discussion; mais il croit qu'il reste encore des points obscurs, notamment les phases initiales du phénomène.

Après une courte discussion, à laquelle prennent part MM. *Walin*, *Stainier* et *Van den Broeck*, M. le Président engage les membres, qui désirent exprimer leurs idées, à faire devant la Société des communications préparées ou rédigées d'avance et bien mûries, qui, seules, sont profitables à la science et évitent les malentendus.

Vu l'heure avancée, M. *Van Bogaert* ne peut faire sa communication sur l'*Épreuve des matériaux de construction en Allemagne et en Suisse.* Elle sera remise à une prochaine séance spéciale d'applications géologiques.

Digitized by Google

M. *Van Bogaert* lit une circulaire à faire parvenir aux personnes qui auraient l'intention de collaborer à la formation de la série complète des matériaux de construction belges, que nous préparons en vue de l'Exposition de Bruxelles.

M. *Van den Broeck* espère que, vu l'importance de cette Exposition et l'intérêt général qu'il y aurait à la conserver pour la mettre à la disposition des ingénieurs, architectes et industriels, des subsides spéciaux seront demandés pour que la série soit exposée dans les meilleures conditions possibles et conservée après l'Exposition.

La séance est levée à 10 h. 45.

ANNEXE A LA SÉANCE DU 12 JANVIER 1897.

M. le Secrétaire général donne lecture en séance d'une partie de la circulaire ci-après, que se propose de lancer le *Comité d'étude des matériaux de construction*, et relative à son projet d'exhibition dans l'une des annexes de la Classe 83 (Géologie, etc.) de l'Exposition internationale de Bruxelles, qui va s'ouvrir dans peu de mois.

EXPOSITION SPÉCIALE

DE

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION D'ORIGINE BELGE

ORGANISÉE PAR LE

COMITÉ D'ÉTUDE DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

DE LA

Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie (Bruxelles)

(*Exposition collective organisée dans la Classe 83 de la* **Section des Sciences** *et destinée à former les bases de l'organisation d'*un futur Musée permanent de l'État a Bruxelles.)

Monsieur,

L'Exposition internationale de Bruxelles (1897) comprendra l'organisation, *par les soins et sous la direction scientifique de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie*, d'une exposition spéciale, et

Digitized by Google

aussi complète que possible, des *matériaux de construction* que fournit le sol belge.

Ces matériaux seront groupés et classés dans *un compartiment gratuit* de la Section des Sciences (section 5 bis), Classe 83 (Géologie et Géographie).

Dans la pensée du *Comité spécial* qui s'est constitué dans ce but au sein de la Société précitée, cette exhibition sera l'origine de la création d'un *Musée permanent de l'État*, à la fois technique, commercial et scientifique, et qui sera appelé à rendre les plus précieux services, non seulement aux producteurs et exploitants, aux entrepreneurs et architectes, mais encore aux administrations communales, provinciales et de l'État. Il est donc de l'intérêt des industriels d'exposer leurs matériaux afin de les faire connaître le plus possible et d'en répandre ainsi l'emploi.

Il importe, afin que le Comité fasse dès maintenant retenir à l'Exposition les *emplacements nécessaires*, — qui, en l'occurrence, paraissent devoir être assez considérables, — que nous soyons fixés *d'urgence* sur les ADHÉSIONS, ainsi que sur les DIMENSIONS OU PROPORTIONS APPROXIMATIVES des envois que chacun se propose de nous faire.

Dans le but de ne pas dépasser certaines limites d'emplacement, les échantillons devront avoir les dimensions suivantes, jugées suffisantes également pour l'exhibition au Musée permanent projeté :

1° *Pierres à bâtir :* cubes avec une face polie (pour les calcaires), quatre faces taillées de diverses façons et une face brute ; dimensions : $0^m,20 \times 0^m,20 \times 0^m,20$.

2° *Pavés et carreaux :* dimensions du commerce ;

3° *Ardoises :* dimensions du commerce ;

4° *Argiles :* une brique crue, une brique cuite ;

5° *Marbres :* tranches polies de 2 centimètres d'épaisseur et de $0^m,50 \times 0^m,50$.

Nota. — Pour les marbres à grands dessins, comme certains marbres rouges, le grand antique, etc., les tranches devront avoir $1^m,50 \times 1^m,50$, afin de permettre de juger de leur *effet décoratif*.

Les marbres rares et non commerciaux seront aussi admis.

Transport. — Nous ferons ultérieurement parvenir aux membres de notre collectivité les formules de transport gratuit des matériaux par chemin de fer.

Les matériaux devront être soigneusement étiquetés ; on indiquera le nom de la carrière (éventuellement du banc), de la commune et de la province, ainsi que le nom du propriétaire et de l'exploitant.

Digitized by Google

(Suivent quelques indications relatives à des renseignements complémentaires sur les conditions matérielles de l'exhibition, et qui sont en partie reproduites dans les notices ci-après.)

. . . . . .

Veuillez agréer, Monsieur, nos salutations empressées.

Le Président
du Comité des Matériaux de Construction,

Le Secrétaire du Comité,

CL. VAN BOGAERT.

L. BERGER,

Administrateur-inspecteur général honoraire
des Ponts et Chaussées, à Bruxelles.

(*Documents envoyés avec la circulaire ci-dessus, aux exploitants, maîtres de carrière, etc.*)

I

NOTICE

L'exposition des *matériaux de construction,* organisée par la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie, est appelée à fournir l'un des principaux éléments d'intérêt de la *Classe 83*, ou de Géologie, de la *Section internationale des Sciences* à l'Exposition de Bruxelles. Toutefois, ce ne sera là qu'un simple point de départ; en effet, le *Comité spécial des matériaux de construction,* constitué au sein de la Société précitée, a formulé un programme détaillé d'étude systématique de nos *matériaux belges,* dont il se propose de mieux faire connaître et de vulgariser l'emploi dans les constructions. Il a notamment en vue l'étude des matériaux non encore utilisés, ou employés à tort jusqu'ici dans un sens restreint, et qu'il croit susceptibles d'une extension d'usage appelée à en accroître la production nationale : tels sont notamment certains de nos marbres belges, aptes à fournir des éléments pouvant convenir à la grande décoration intérieure des édifices.

Le Comité dispose de l'appui du Département de l'Agriculture et des Travaux publics, qui a bien voulu déjà encourager ses études et les lui faciliter par la communication de précieux et volumineux dossiers spécialement consacrés aux questions constituant son programme. Il n'est pas douteux que d'autres départements ministériels accorderont leur appui à cette œuvre d'utilité nationale.

Digitized by Google

II

PROJET D'ORGANISATION D'UN MUSÉE PERMANENT DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION.

En vue d'arriver à son but, le Comité se propose de profiter de l'Exposition de Bruxelles pour jeter les bases définitives d'un futur *Musée permanent de l'État.*

Par l'adjonction ultérieure, qui sera proposée au Département ministériel intéressé, d'un *Laboratoire technique d'essais et d'expérimentation*, analogue à ceux qui existent en Allemagne et en Suisse, ce futur Musée des matériaux de construction belges constituera, ainsi complété et rendu absolument pratique, un ensemble d'une haute portée et une innovation précieuse pour un pays aussi riche que le nôtre en roches et en matériaux de toute espèce, applicables à la construction.

On y trouvera aussi des garanties de précision, ainsi que des références officielles et scientifiquement établies, pour la rédaction des cahiers des charges relatifs aux entreprises privées et publiques; bien des contestations et procès, qui actuellement dérivent du manque de tels types officiels, pourront être ainsi évités.

L'exposé sommaire précédent des avantages multiples que présentera la création du Musée permanent projeté, suffira amplement pour que les exploitants et maîtres de carrières saisissent immédiatement l'intérêt direct qu'ils ont, ne fût-ce qu'au point de vue purement matériel et commercial, à favoriser le Comité dans l'accomplissement de sa tâche. Or, l'œuvre n'est pratiquement réalisable qu'à condition de pouvoir profiter des avantages de toute nature qu'offre l'*Exposition de Bruxelles* pour réaliser, sans frais de transport ni d'exhibition, la concentration et l'organisation technique et scientifique des matériaux qui devront constituer le futur Musée, qui sera offert à l'État après la clôture de l'Exposition.

Il est bien entendu que l'appel actuellement fait aux exploitants et maîtres de carrières, en vue de l'Exposition de Bruxelles, n'implique nullement l'*obligation* d'abandonner dès maintenant, à l'œuvre permanente en vue, la totalité ou même une partie des matériaux qu'ils voudront bien confier à la collection qu'organise le Comité spécial de la Société belge de Géologie; cependant nous faisons à tous un chaleureux appel en ce sens, et ceux d'entre les exploitants qui désireraient faire des réserves ou des exceptions parmi les documents et matériaux qu'ils enverront, sont priés de bien vouloir clairement formuler leurs intentions restrictives à cet égard.

Digitized by Google

III

CARACTÈRE DE GRATUITÉ DE L'EXHIBITION PROJETÉE.

On sait que la *Section des Sciences,* qui englobera dans la Classe 83 l'exposition collective de la Société belge de Géologie, et notamment l'exhibition des *matériaux de construction belges,* comprend un *compartiment gratuit,* c'est-à-dire permettant aux exposants de cette Section qui exhibent des objets en dehors de toute idée commerciale, d'obtenir sans aucuns frais les emplacements, ainsi que les installations nécessaires.

Nous nous permettons d'engager vivement les exploitants qui ont pris la résolution d'exposer leurs produits dans les sections industrielles, à participer aussi à l'exposition du compartiment spécial et gratuit de la *Section des Sciences.* Notre Comité, en effet, a en vue d'organiser, sous le nom et le patronage de la Société belge de Géologie, une *exposition collective,* dans laquelle il est hautement désirable que tous les participants soient animés du même esprit et consentent à faire temporairement abstraction de leur qualité d'industriel ou de commerçant pour profiter complètement des avantages spéciaux d'une exposition d'un caractère éminemment technique et scientifique. C'est lors de la transformation ultérieure de cette exhibition en un *Musée permanent*, spécialement technique et *commercial*, que réapparaîtra, dans tout son épanouissement, le côté pratique et industriel de l'exhibition projetée. Chacun alors sera instamment prié, au contraire, d'adjoindre à son exhibition des renseignements détaillés sur les prix de vente, etc., des matériaux, exhibés alors avec une organisation officielle et uniquement sous les noms des diverses firmes commerciales représentées.

Nous espérons, Monsieur, que le soin éclairé de vos intérêts vous engagera à nous aider dans une entreprise absolument désintéressée de la part du Comité organisateur, et qui réalise, dans un but de vulgarisation et d'application scientifiques, un des articles du programme d'études de la *Société belge de Géologie*, qui, dès son origine, s'est attachée à poursuivre de multiples buts d'*applications géologiques* et cherche à montrer combien la Science peut rendre de services à la chose publique.

Digitized by Google

IV

Composition du Comité permanent d'étude

DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION BELGES

constitué sous les auspices et parmi les membres de la

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE
(Bruxelles).

Président :

BERGER, L., administrateur-inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées, rue Rogier, 311, Bruxelles.

Secrétaire :

VAN BOGAERT, CL., ingénieur principal des Chemins de fer de l'État belge, chargé de la construction de la gare d'Anvers, rue Dodoens, 1, Borgerhout lez-Anvers.

Membres :

CUVELIER, E., capitaine commandant du Génie, professeur à l'École militaire.

DE SCHRYVER, ingénieur en chef-directeur des Ponts et Chaussées.

DOLLO, L., président de la Société belge de Géologie.

GOBERT, A., ingénieur-expert.

HANKAR, P., architecte.

HANS, J., ingénieur civil.

JOTTRAND, G., ancien représentant, président de la *Section d'applications* de la Société.

LAHAYE, CH., ingénieur en chef-directeur des Ponts et Chaussées.

LOSSEAU, chimiste.

LECHIEN, ingénieur en chef des Chemins de fer de l'État.

LUCION, docteur en sciences et chimiste.

MONNOYER, L., entrepreneur.

RABOZÉE, H., lieutenant du Génie, répétiteur à l'École militaire.

ROELOFS, directeur de la briqueterie de Ter Elst.

RUTOT, conservateur au Musée royal d'Histoire naturelle, secrétaire de la *Section d'applications* de la Société.

STAINIER, professeur à l'Institut agronomique de l'État, à Gembloux.

VAN DEN BROECK, E., conservateur au Musée royal d'Histoire naturelle, Secrétaire de la *Section des Sciences* à l'Exposition internationale, secrétaire de la *Société belge de Géologie*.

WILLEMS, capitaine commandant du Génie.

Digitized by Google

SÉANCE MENSUELLE DU 26 JANVIER 1897.

Présidence de M. **L. Dollo**, *Président.*

La séance est ouverte à 8 h. 45.

Les procès-verbaux des séances des 29 octobre, 12 et 26 novembre 1896, parus dans le fascicule récemment distribué du tome X, sont approuvés.

M. le *Secrétaire général* soumet à l'assemblée le projet de lettre-circulaire ci-après, relatif à l'organisation d'une **Exposition collective de Géologie** à organiser au sein de la Classe 83 de l'Exposition internationale de Bruxelles.

Bruxelles, le 30 janvier 1897.

MONSIEUR ET HONORÉ CONFRÈRE,

Il a paru aux membres de la *Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie* que l'une des manifestations les plus intéressantes pouvant utilement contribuer à jeter quelque éclat sur la célébration du *dixième anniversaire* de la fondation de la Société, dont la croissante prospérité s'affirme dans toutes les directions, serait de prendre une part brillante à l'*Exposition internationale*, qui s'ouvre, à Bruxelles, précisément dans l'année de notre premier décennaire.

Un tel projet se trouve favorisé par cette circonstance heureuse, que la dite Exposition comprendra une *Section spéciale des Sciences*, avec un compartiment *international* et *gratuit* consacré exclusivement aux sciences pures, dégagées de toute idée commerciale ou industrielle.

Les savants de tous pays sont gracieusement invités à y produire leurs travaux et à y faire connaître les résultats qu'ils ont obtenus, ainsi que les méthodes qu'ils ont suivies. Ce but sera atteint par

Digitized by Google

l'exposition des collections, appareils et dispositifs qui ont servi à leurs travaux, ou bien au besoin par celle de planches, photographies ou schémas explicatifs (1).

La *Section des Sciences* comprend sept classes : Mathématiques et Astronomie (Classe 80); Physique et Météorologie (Classe 81); Chimie (Classe 82); Géologie et Géographie (Classe 83); Biologie (Classe 84); Anthropologie (Classe 85) et Bibliographie (Classe 86).

Des *programmes détaillés* sur les subdivisions de ces Classes et sur ce que pourrait utilement comprendre l'exposition à organiser dans les sept classes précitées, ont été élaborés dans les réunions de chacune d'elles. Ces programmes sont à votre disposition.

Avec la présente circulaire vous trouverez, Monsieur et cher Confrère, le *programme de la Classe 83 (Géologie et Géographie)* (2), dont le contenu nous paraît devoir vous intéresser tout particulièrement (3).

Afin de vous montrer dans quel esprit est organisée la *Section internationale des Sciences* à l'Exposition de Bruxelles et de quelles facilités jouiront les hommes de science qui voudront bien y exposer, nous extrayons, tant des divers documents publiés par les soins de M. Eug. van Overloop, Commissaire du Gouvernement près la Section des Sciences, que de la brochure spéciale publiée sur l'organisation de cette Section, les renseignements suivants :

« Les personnes ou les Sociétés exposant des travaux, appareils, instruments et collections rentrant dans le cadre de la *Section des Sciences*, n'auront *rien à payer* pour les emplacements, non plus que pour la décoration, la surveillance et le balayage des salles, à condition que leur participation s'opère en dehors de toute idée commerciale ou industrielle; faute de quoi elles auront à acquitter les taxes d'emplacement d'après le tarif de leurs emplacements nationaux respectifs.

» Il a été, en outre, alloué à la Section des Sciences une certaine somme d'argent

(1) De courtes notices, même sous forme d'étiquettes, seront les bienvenues, en ce sens qu'elles permettront, même au public non initié, de se rendre compte des résultats obtenus, des méthodes exposées et de leur portée.

Des conférences et des démonstrations publiques seront organisées sur les objets exposés et sur les grandes découvertes de la science.

(2) *Ce programme, qui avait été élaboré au sein de la Société belge de Géologie, a déjà paru dans le procès-verbal de la séance du 27 octobre 1896* (*Voir* Bull., *t. X, 1896, Pr.-Verb., pp. 147-158*). *Il est donc inutile de le reproduire ici en annexe.*

(3) Pour recevoir soit des renseignements complémentaires, soit la *brochure spéciale* consacrée à la *Section des Sciences*, soit encore les divers programmes d'exposition des autres Classes, prière de s'adresser, suivant le cas en vue, à M. Ernest Van den Broeck, Secrétaire de la *Section des Sciences*, 39, place de l'Industrie, à Bruxelles, ou à M. A. Rutot, Secrétaire de la *Classe de Géologie et de Géographie*, 177, rue de la Loi, à Bruxelles.

Digitized by Google

destinée aux aménagements spéciaux, ce qui permettra, dans bien des cas, de supprimer ou d'atténuer tout au moins, au profit des exposants, les *frais ordinaires d'installation* (meubles, vitrines, dispositifs spéciaux, etc.). Des mesures seront prises pour garantir autant que possible les objets exposés contre toute perte ou avarie, sans qu'il puisse cependant être assumé de ce chef aucune responsabilité. (Voir le règlement, art. 6.)

» Le *transport gratuit* par chemin de fer de l'État est accordé, tant à l'aller qu'au retour, en faveur des objets d'*origine belge*.

» Les objets étrangers paieront la taxe pleine à l'aller et jouiront du *transport gratuit* au retour. Cette gratuité au retour sera accordée également sur certains réseaux étrangers; elle est déjà consentie par les Compagnies françaises et allemandes de chemins de fer. Les produits étrangers seront importés en *franchise des droits d'entrée*, à charge de réexportation.

» Les produits, tant belges qu'étrangers, seront admis dans l'enceinte de l'Exposition à partir du 10 mars jusques et y compris le 10 avril 1897. Ils devront être complètement installés le 15 avril.

» Il est à noter que le Bureau de la Section s'efforcera de mettre au service de celle-ci un personnel de gens spéciaux, de manière à assurer que tous les soins possibles seront pris dans le maniement des objets à exposer

» Le service de la manutention sera fait *gratuitement* pour les objets exposés dans la Section et jouissant d'emplacements gratuits. »

Ces avantages considérables accordés aux hommes de science constituent, vous le voyez, Monsieur et cher Confrère, un cadre extrêmement favorable à l'entreprise de la *Société belge de Géologie*.

Nous espérons donc être largement entendus dans l'appel pressant que nous venons faire, par la présente, auprès de ceux de nos Confrères étrangers et belges qui seraient en possession d'objets, de documents, de collections spéciales, ou de dispositifs de démonstration ou d'expérience rentrant dans le cadre du programme ci-annexé (voir Bull., t. X, 1896. Pr.-verb., pp. 147-148) et pouvant présenter, pour l'exposition collective de notre Société, un réel intérêt.

A défaut de collections, d'appareils ou de documents en nature, des moulages, d'une part, des dessins, planches, cartes et photographies, d'autre part, seraient les bienvenus, surtout chaque fois qu'ils s'appliqueraient à l'ensemble ou à une partie spéciale de l'*œuvre personnelle* de l'exposant. A ce point de vue d'ailleurs, le Bureau de la Section a recommandé aux diverses Classes de s'efforcer d'obtenir de chacun, en dehors des actualités scientifiques, l'exhibition d'éléments quelconques rappelant l'une, au moins, de ses œuvres les plus saillantes.

Déjà, dans l'exhibition de la Classe 83, la partie *Science pure* s'annonce comme devant être bien développée, et d'importantes adhésions, officielles et personnelles, assurent à la Géologie, à la Paléontologie et à la Géographie de remarquables attractions, que votre collaboration

Digitized by Google

espérée enrichira encore; mais il est hautement désirable aussi que l'un des éléments qui ont, depuis dix ans, concouru d'une manière constante au succès de la *Société belge de Géologie,* soit également représenté dans l'Exposition collective de *science pure* et de *science appliquée* qu'elle a décidé d'organiser. Nous voulons parler des *applications géologiques* en matière d'hydrologie, de forages et de puits artésiens, d'étude de matériaux de construction, etc.

C'est surtout à nos Confrères étrangers et en particulier à la savante pléiade de nos *membres honoraires* et *associés étrangers* que nous nous adressons et que nous faisons un pressant appel, auquel ils répondront, sans nul doute, en vue de nous accorder ce témoignage de sympathique encouragement.

Tout homme de science qui désire exposer en son nom personnel dans la Section des Sciences sera le bienvenu et jouira de tous les avantages de *gratuité* accordés au compartiment spécial de la Section; mais l'appel ici formulé, au nom du Conseil de la *Société belge de Géologie*, a spécialement en vue les adhésions qui seraient directement destinées à la Collectivité organisée par cette dernière.

Les adhérents étrangers et nationaux de cette Collectivité ne seront pas, il est vrai, mentionnés personnellement dans le Catalogue général de l'Exposition; mais ils auront l'avantage de figurer, sous forme de mention personnelle, accompagnée, lorsqu'il y aura lieu, de notices et de renseignements détaillés, dans le *Catalogue spécial* que publiera la *Section des Sciences.*

L'entrée dans une Collectivité telle que celle organisée par la Société belge de Géologie aura encore l'avantage d'épargner aux exposants des démarches et des correspondances multiples et compliquées. La Collectivité se chargera de tout le travail administratif, préparatoire à l'exposition, et elle enverra notamment à ses adhérents de l'étranger et du pays les formules et documents nécessaires pour l'expédition et pour le retour — dans les conditions réglementaires accordées — des objets exposés.

Afin de faciliter leur tâche aux organisateurs, et aussi afin de pouvoir assurer *gratuitement* à chacun les emplacements, meubles et dispositifs nécessaires, nous vous prions, Monsieur et cher Confrère, de bien vouloir nous faire savoir d'urgence si la Société peut compter sur votre adhésion, et de nous indiquer, fût-ce approximativement, combien de *mètres carrés* (à répartir en bijoutières et en armoires) et combien de *mètres courants* sur cloison verticale votre exposition comportera.

Digitized by Google

Nous ne saurions trop insister sur l'absolue nécessité où nous nous trouvons d'être *promptement fixés* à cet égard.

Vous remerciant du bon accueil que vous réserverez à cette demande, nous vous prions, Monsieur et cher Confrère, d'agréer nos salutations empressées.

Le Secrétaire, E. Van den Broeck.

Le Président, L. Dollo.

SECTION DES SCIENCES

A L'EXPOSITION INTERNATIONALE DE BRUXELLES (1897).

Président.

M. le général DE TILLY, Commandant de l'École militaire, La Cambre lez-Bruxelles.

Commissaire du Gouvernement.

M. Eug. van OVERLOOP, ancien Président de la Société d'Anthropologie de Bruxelles.

Secrétaires.

M. G. GILSON, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Louvain.

M. E. VAN DEN BROECK, Conservateur au Musée Royal d'Histoire naturelle de Belgique.

Commissariat et Secrétariat de la Section : 39, place de l'Industrie, à Bruxelles.

Classe 88. — Géologie et Géographie.

Président.

M. A. HOUZEAU, Vice-Président de la Société belge de Géologie.

Vice-Présidents.

M. Ch. DE LA VALLÉE POUSSIN, Professeur à l'Université de Louvain.

M. L. DOLLO, Président de la Société belge de Géologie.

M. J. DUFIEF, Secrétaire général de la Société de Géographie, à Bruxelles.

M. M. MOURLON, Secrétaire de la Commission géologique de Belgique.

M. A.-F. RENARD, Professeur à l'Université de Gand, à Wetteren.

Secrétaires.

M. Paul COMBAZ, Professeur à l'Académie royale des Beaux-Arts, à Bruxelles. (*Géogr.*)

M. A. RUTOT, Conservateur au Musée royal d'Histoire naturelle de Bruxelles. (*Géol.*)

Digitized by Google

Dons et envois reçus :

1° De la part des auteurs :

2270. **Cornet. J.** *L'âge de la pierre dans le Congo occidental.* Bruxelles, 1897. Extrait in-8° de 7 pages.

2271. **Dubois, Eug.** *Communication sur le Pithecanthropus erectus du Pliocène de Java.* Bruxelles, 1895. Extrait in-8° de 10 pages. (2 exemplaires.)

2272. **Hankar, Alb.** *Compte rendu de la session annuelle extraordinaire de 1895 tenue dans le nord de la France et le Boulonnais.* Bruxelles, 1896. Extrait in-8° de 39 pages. (2 exemplaires.)

2273. **Mieg.** *Sur un gisement callovien découvert aux environs de Winkel.* Paris, 1896. Extrait in-8° de 4 pages.

2274. **Mourlon, M.** *Sur la création d'un Bureau international de bibliographie.* Bruxelles, 1894. Extrait in-8° de 10 pages.

2275. — *Compte rendu de l'excursion du lundi 24 septembre 1894 aux massifs tertiaires entre Waterloo et Ottignies.* Bruxelles, 1895. Extrait in-8° de 12 pages.

2276. — *Notice bibliographique.* Bruxelles, 1896. Extrait in-8° de 7 pages.

2277. — *L'avenir de la géologie en Belgique.* Bruxelles, 1897. Extrait in-8° de 8 pages.

2278. — *Les mers quaternaires en Belgique.* Bruxelles, 1896. Extrait in-8° de 43 pages.

2279. — *Sur une nouvelle interprétation des dépôts rapportés par Dumont à son système laekenien dans la région comprise entre Waterloo et Ottignies.* Bruxelles, 1895. Extrait in-8° de 4 pages.

2280. — *Sur la nécessité de maintenir les étages asschien et wemmelien de l'Éocène supérieur.* Bruxelles, 1895. Extrait in-8° de 8 pages.

2281. — *Sur la non-existence des dépôts de l'Éocène supérieur asschien, en dehors des environs de Bruxelles, dans la région comprise entre la Senne et la Dyle.* Liége, 1894-1895. Extrait in-8° de 4 pages.

2282. — *Sur l'âge des sables qui, entre Aerschot et Watervliet, au nord d'Eecloo, séparent l'argile de Boom (Oligocène moyen) et l'argile sous-jacente à ces sables.* Liége, 1895. Extrait in-8° de 22 pages.

2283. — *Observations à propos du gîte fossilifère découvert par M. Velge dans l'argile de la bruyère de Haut-Ittre.* Liége, 1895. Extrait in-8° de 8 pages.

2284. **Szajnoche, W.** *Atlas geologiczny Galicyi.* Cracovie, 1899. 5 feuilles et 1 texte in-8° de 149 pages.

Digitized by Google

2285. **Van den Broeck, E.** *Les mistpoeffers ou détonations mystérieuses de la mer du Nord et des régions terrestres et maritimes circonvoisines et les Barisal Guns du delta du Gange.* Bruxelles, 1896. Extrait in-8° de 18 pages. (2 exemplaires.)

2287. **Petermann, A.** *Rapport. — Station agronomique et laboratoires d'analyses de l'État (1871-1896). — Historique. — Organisation. — Travaux.* — Bruxelles, 1896. Brochure in-8° de 34 pp., 16 pl.

2° Périodiques nouveaux :

2259. Allemagne (Autriche). *Verhandlungen der k. k. geologischen Reichsanstalt.* 1896, n°s 13, 14, 15.

2257. Amérique *Proceedings of the American philosophical Society.* XXXIV, 1895, n°s 147, 148, 149; XXXV, 1896, n°s 150, 151.

2258. — *The Kansas University quarterly.* Vol. V, 1896, n° 1.

2265. Belgique. *Bulletin de la Société belge d'astronomie.* 1896, n° 2.

2266. — *Annuaire de la Société d'astronomie.* 1897.

2260. France. *Actes de la Société linnéenne de Bordeaux.* XLVIII, t. VIII.

2261. — *Mémoires de la Société nationale d'agriculture, sciences et arts d'Angers.* IX, 1895.

2262. — *Bulletin de la Société d'études scientifiques de l'Aude.* VII, 1896.

2263. — *Annales de la Société d'agriculture, histoire naturelle et arts utiles de Lyon.* 6e série, t. III, 1890; IV, 1891; V, 1892. 7e série, t. I, 1893; II, 1894; III, 1895.

2264. — *Mémoires de la Société d'émulation d'Abbeville.* T. I, fasc. III; t. I, fasc. II.

2255. Italie. *Atti della R. Accademia delle scienze di Torino.* Vol. XXXI, 1895-1896; disp. 12*a*, 13*a*, 14*a*, 15*a*.

2254. — *Bollettino della Societa geologica Italiana.* XV, 1896, fasc. 3°. (4e trimestre 1896.)

2256. Russie. *Bulletin de la Société impériale des naturalistes de Moscou.* 1896, n° 1.

Présentation et élection de nouveaux membres effectifs :

Sont présentés et élus par le vote unanime de l'assemblée :

MM. Paul de Puydt, ingénieur, 3, rue de Brederode, à Bruxelles.

Jean Fichefet, entrepreneur de travaux publics, 36, rue de Russie, à Saint-Gilles (Bruxelles.)

Jules Galasse, constructeur, 42, rue de Birmingham, à Molenbeek-Saint-Jean (Bruxelles.)

Digitized by Google

Communications des membres :

OBSERVATIONS
SUR
LA GÉOLOGIE DU CONGO OCCIDENTAL

PAR

J. CORNET

COMMUNICATION PRÉLIMINAIRE (1).

Au cours d'une mission au Congo, dont j'ai eu l'honneur d'être chargé par le Gouvernement belge, je me suis livré, dans les régions comprises entre Matadi et le haut Congo, aussi bien aux abords de la voie ou du tracé du chemin de fer que le long de la route des caravanes, à des études géologiques, dont j'ai l'intention de communiquer les résultats à la Société.

A la séance du 25 février 1896, j'ai présenté un travail sur les *Dépôts superficiels de la région* (t. X, 1896, Mém.. pp. 44-116).

La présente communication a pour but de faire connaître, d'une façon aussi brève que possible, les principaux résultats auxquels je suis arrivé dans l'étude des terrains anciens du Congo occidental, en attendant un mémoire plus développé où je rendrai compte de mes observations d'une façon détaillée et m'efforcerai de les coordonner avec celles de mes prédécesseurs.

Le Congo occidental peut, au point de vue géologique, se diviser en quatre zones (voir la fig. 1), qui sont, en allant de la côte vers l'intérieur ou de l'ouest à l'est :

I. — La zone maritime.
II. — La zone cristalline.
III. — La zone schisto-calcareuse.
IV. — La zone des grès.

(1) Cette communication a été faite en réalité à la séance du 22 décembre 1896, mais la rédaction, par suite du changement d'imprimeur, a dû en être reportée au procès-verbal de la séance du 26 janvier 1897, dans laquelle l'auteur a encore développé certains points accessoires de son travail, dont la rédaction *in extenso* figurera dans les *Mémoires* du tome XI (1897).

Digitized by Google

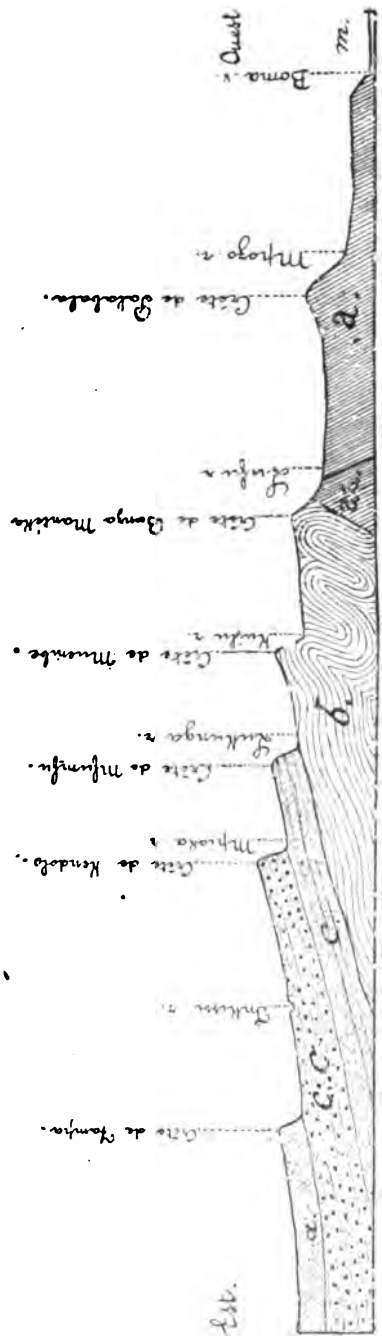


FIG. 1. — *Coupe schématique entre la plaine maritime et le Haut-Congo.*

ZONE IV.	*d.* Grès tendre du Haut-Congo. *cc.* Système de l'Inkissi. *c.* Système de la Mpioka.	ZONE II. { *aa.* Couches métamorphiques. *a.* Couches archéennes (?)
ZONE III.	*b.* Système schisto-calcareux.	ZONE I . . | *m.* Dépôts côtiers.

NOTA. — Les hauteurs sont fortement exagérées.

Digitized by Google

I. — Zone maritime.

Elle comprend, outre les formations superficielles communes à toute la région (alluvions récentes, terres de ruissellement, terres d'altération *in situ*) :

1° *Des dépôts d'estuaire anciens.*
2° *Des lambeaux de dépôts tertiaires.*
3° *Des lambeaux de dépôts crétacés.*
4° *Des grès précrétacés continentaux.*

Mes observations personnelles sur cette zone ne m'ont fourni aucun fait nouveau. Je me bornerai à dire que j'ai vu à Boma, entre les mains d'un fonctionnaire de l'État du Congo, des fossiles tertiaires provenant de Landana (embouchure du Tchiloango), entre autres un grand Nautile, à siphon remarquablement asymétrique.

II. — Zone cristalline.

Cette zone constitue un ensemble assez complexe. La partie occidentale est nettement cristalline, mais il est difficile de décider si elle est réellement archéenne, comme on l'a dit jusqu'ici, ou s'il faut y voir des terrains métamorphiques d'âge plus récent.

Dans la partie orientale, *le caractère cristallin des roches devient de moins en moins prononcé.*

Les couches de la deuxième zone ont pour caractère commun et très constant une inclinaison, à angle variable, vers la côte; le sens de cette inclinaison peut varier du nord-ouest au sud-ouest.

Je distinguerai provisoirement dans la zone cristalline les groupes de couches suivants, classés dans l'ordre de succession d'aval en amont, c'est-à-dire de l'ouest à l'est ou de l'extérieur vers l'intérieur du continent :

Archéen (?).	A. *Couches de Boma.* B. *Couches de Matadi.* C. *Couches de Palabala.* D. *Couches de la Kimeza.* E. *Couches de la Duizi.*
Métamorphique . . .	F. *Couches de la Bembizi.* G. *Couches de la Sékélolo.* H. *Couches de la Nguvu.*

Digitized by Google

A. *Couches de Boma.*

Je n'ai pas eu l'occasion de faire des observations nouvelles dans cette partie de la zone cristalline. J'y rangerai les couches observées par M. Dupont entre Boma et le Chaudron d'Enfer : gneiss tourmalinifères, micaschistes souvent grenatifères et tourmalinifères avec granites divers, granulite, etc.

B. *Couches de Matadi.*

Ces couches comprennent :

1° Des quartzites micacés et aimantifères, en bancs épais ou en couches très feuilletées et très micacées, passant au micaschiste. Vers l'est, ils deviennent plus feuilletés et verdâtres ;

2° Des roches amphiboliques, en bancs massifs ou feuilletés, analogues tantôt à des gneiss syénitiques, tantôt à des schistes dioritiques. Ces couches alternent avec les précédentes, mais en zones beaucoup moins épaisses.

C. *Couches de Palabala.*

Alternances de couches schisteuses amphiboliques très feuilletées et de quartzites micacés feuilletés passant au micaschiste, avec intercalations, en couches peu épaisses, de roches comparables à des leptynites à très gros grain.

D. *Couches de la Kiméza.*

Elles comprennent des gneiss, bien feuilletés ou granitoïdes, présentant de beaux cas de *gneiss œillé* (*Augengneiss*), des micaschistes et des roches schisteuses amphiboliques. On y trouve des masses paraissant interstratifiées, de véritable granite.

Dans la partie orientale de ce groupe, on ne rencontre plus que des micaschistes et des talcschistes, alternant avec des roches amphiboliques contenant quelques masses granitiques interstratifiées.

E. *Couches de la Duizi.*

Formées presque exclusivement de gneiss et de schistes amphiboliques en bancs massifs ou feuilletés, suivis d'une large zone de chloritoschistes.

Digitized by Google

F. *Couches de la Bembizi.*

Comprennent des phyllades noir bleuâtre et des schistes divers, que l'on ne voit qu'à l'état de profonde altération, avec bancs de quartzites très compacts, devenant feldspathiques à mesure qu'on s'avance vers l'est, et passant à une belle arkose gris bleu. Cette arkose affleure dans le territoire de la zone schisto-calcareuse jusqu'au delà de la Lufu en crêtes allongées, flanquées des deux côtés par les poudingues de cette zone.

G. *Couches de Sékélolo.*

Ces couches comprennent des roches, à caractère cristallin faible ou absent, que je range dans la zone cristalline à cause des rapports intimes qu'elles semblent présenter avec le groupe précédent, où ce caractère est encore très net.

Les couches de Sékélolo font défaut aux abords immédiats du chemin de fer; mais on les rencontre plus au nord, jusqu'au Congo, au voisinage de la limite entre la zone cristalline et la zone schisto-calcareuse. Elles comprennent des grès très cohérents noirâtres, calcarifères, des schistes grossiers, durs, gris; des schistes phylladeux bleu ardoise foncé et des schistes verdâtres ou bleuâtres très feuilletés.

Ces couches verticales, ou légèrement inclinées vers l'ouest, forment, entre Banza-Mantéka et Sékélolo, des bandes étroites affleurant entre des zones de poudingues de la zone schisto-calcareuse. Ces poudingues renferment, comme éléments roulés, des fragments de roches de ce groupe.

H. *Couches de la Nguvu.*

A environ quinze kilomètres à l'est de l'Inkissi, dans la vallée de la rivièra Guvu, près de la limite extrême de l'affleurement des couches de la zone schisto-calcareuse, apparait, d'une façon fort inattendue, un pointement de roches rappelant celles de Sékélolo : entre autres des grès durs, calcareux, accompagnés de schistes talcqueux.

III. — Zone schisto-calcareuse.

Cette zone est formée par un ensemble de couches présentant de haut en bas :

5° *Des schistes calcareux avec roches siliceuses oolithiques.*

Digitized by Google

4° *Des cherts, etc., souvent oolithiques.*
3° *Des calcaires marbres.*
2° *Des schistes calcareux ou calcaires argileux schistoïdes.*
1° *Des poudingues.*

Cet ensemble est appuyé, vers l'ouest, contre les formations de la zone cristalline; il forme de ce côté une série de plis serrés, une succession de bassins synclinaux indiquant un refoulement vers l'ouest, contre les massifs anciens. Ces bassins sont sensiblement dirigés nord-sud, limités par des saillies de poudingues en zones allongées parallèles et parfois par des affleurements, sous forme de longues crêtes, des roches plus anciennes qui forment le substratum du bassin (arkose du groupe de la Bembizi, grès et schistes de Sékélolo).

A mesure que l'on s'avance vers l'est, le plissement des couches schisto-calcareuses devient moins serré; puis on passe à des couches ondulées qui deviennent de plus en plus régulières en présentant un pendage, peu prononcé mais constant, *vers l'est;* cette inclinaison vers le centre du bassin les fait bientôt disparaître sous les grès feldspathiques de la quatrième zone.

Les assises de la zone schisto-calcareuse ont subi une dénudation très importante. Sur une grande partie de la région qu'elles occupent, les poudingues et les schistes calcareux ont seuls subsisté.

Les assises de calcaires-marbres ont été en grande partie démantelées; on les retrouve vers l'ouest en bancs presque verticaux, coincés dans la partie médiane des bassins synclinaux dont je viens de parler. Plus à l'est, là où ils ont formé des bancs ondulés ou doucement inclinés vers l'intérieur du bassin, ils n'existent plus qu'en rochers isolés et espacés, jusqu'à ce que, par suite du pendage général, les couches supérieures viennent les recouvrir.

Les roches siliceuses (cherts, etc.), supérieures aux calcaires, quand les couches supérieures manquent, ne se rencontrent plus qu'à l'état de blocs libres.

Voici les caractères essentiels des différentes assises du système schisto-calcareux :

1° *Poudingues.* — Ils sont formés d'une pâte dure et cohérente argilo-calcaire, de teinte gris bleu ou gris verdâtre, remplie de grains de quartz de différentes grosseurs et de galets de quartz, de quartzites plus ou moins feldspathiques, d'arkose, de grès calcareux durs, gris ou noirâtres, de calcaire pur bleuâtre ou brun, demi-cristallin et de granits divers. Les grès calcareux et les calcaires sont des éléments rema-

Digitized by Google

niés des couches de Sékélolo, dont l'antériorité par rapport au système schisto-calcareux est ainsi démontrée; les autres roches proviennent de la zone cristalline.

2° *Schistes calcareux* ou *calcaires argileux schistoïdes.* — Ils sont ordinairement gris bleu plus ou moins foncé; en général bien feuilletés, quoique pouvant souvent se présenter en bancs massifs quand ils sont bien intacts; dans ce cas, l'altération météorique fait apparaître la schistosité. Des parties plus compactes et plus homogènes donnent lieu à de gros noyaux arrondis ou anguleux de calcaire argileux gris bleu qui persistent souvent intacts au milieu de l'argile résultant de la décomposition sur place du reste de la roche, ou que l'on trouve à la surface du sol dégagés par l'action du ruissellement.

3° *Calcaires-marbres.* — Dans la région occidentale de la zone schisto-calcareuse, on les trouve en place pincés dans la partie médiane des bassins synclinaux. Ainsi, à l'endroit où l'ancienne route des caravanes croise la Luima, on les voit disposés en une série de bancs épais verticaux, alignés à peu près du nord au sud en une bande d'une largeur totale de plus de 400 mètres. La roche est demi-cristalline, à grain très fin, très compacte, blanche ou colorée en gris, gris bleuâtre ou jaunâtre. Le Kuilu, au point de passage de la route des caravanes, présente des affleurements splendides de calcaires-marbres diversement teintés.

Plus à l'est, dans les régions où l'allure des couches schisto-calcareuses est plus régulière, les bancs de calcaire-marbre ont été presque complétement balayés par l'érosion, et l'on n'en retrouve plus que des témoins isolés, sous forme de rochers souvent très pittoresques. Tels sont les marbres jaunes et roses du Col-de-Zolé, les roches des Montagnes de Marbres, les roches de Bafu, les roches de Lamba, les rochers dia Bavo, le mont Kinsundi et les beaux rochers de marbre blanc, gris ou bleu qui se voient sur la gauche de la route des caravanes, entre le Nsona Kibaka et Lukungu.

Plus à l'est encore, les calcaires-marbres ne se rencontrent plus que dans le fond de quelques vallées : avec les assises sous-jacentes du système schisto-calcareux, ils plongent vers l'est et sont recouverts par le terme supérieur du système, que surmontent bientôt, à leur tour, les assises des grès feldspathiques.

4° *Cherts,* etc. — Je n'ai eu nulle part l'occasion de voir ces roches *in situ*, mais j'ai pu cependant établir que leur place se trouve entre les calcaires-marbres et l'assise supérieure du système. Bien que je les désigne, pour abréger, par le terme commun de *cherts,* elles sont loin de présenter un aspect unique et uniforme.

Digitized by Google

Ces roches apparaissent, peut-on dire, dès la limite occidentale du système schisto-calcareux, mais ce n'est qu'à l'est du Kuilu qu'elles deviennent abondantes. Elles se présentent en blocs nombreux, parfois colossaux, souvent rassemblés en grand nombre en des espaces limités, sur les plateaux, le penchant des collines ou dans le fond des vallées.

Ce sont des roches siliceuses d'apparence très polymorphe, pouvant présenter, parfois sur un même bloc, des aspects de grès, quartzite, phtanite, chert, silex, meulière, etc. Le type le plus commun paraît être une sorte de grès compact, à grain fin; mais, ordinairement, les éléments clastiques sont empâtés dans de la silice secondaire, au point de donner lieu à des roches d'aspect très homogène. Souvent des parties de blocs prennent un aspect oolithique, ou bien, si les oolithes ont disparu, elles se montrent criblées de petites cellules sphériques ou aplaties.

Ces roches me paraissent représenter des formations siliceuses mi-clastiques, mi-concrétionnées, analogues à nos cherts du calcaire carbonifère, formant des bancs interrompus, des lentilles, etc., vers la partie supérieure des calcaires-marbres. J'ai trouvé au Katanga des roches analogues accompagnant des calcaires.

5° Les calcaires-marbres et les roches siliceuses précédentes sont surmontés, vers l'est, d'une série de schistes calcareux, ou de calcaires argileux schistoïdes gris bleu, rappelant beaucoup ceux qui font suite aux poudingues de la base, mais renfermant, intercalés, des bancs bien distincts, plus ou moins épais et espacés, de roches siliceuses comparables à des silex ou à des phtanites, et de texture oolithique.

Cette assise supérieure du système schisto-calcareux a été enlevée par la dénudation sur la plus grande partie de la zone. Aux abords du chemin de fer, on ne la trouve que dans le bassin de l'Inkissi, à l'est duquel elle disparaît bientôt sous les grès feldspathiques. Aux environs de Lukungu, elle affleure sur le flanc oriental de la grande vallée de la Lukungu en une zone intercalée entre les calcaires-marbres avec cherts et les assises des grès feldspathiques. On n'en retrouve que des lambeaux à l'ouest de Lukungu.

IV. — Zone des grès.

Cette zone est occupée par deux groupes superposés, entre lesquels existe, comme je l'ai constaté dans d'autres parties du bassin, une discordance de stratification.

2° Groupe supérieur. — *Grès tendres du Haut-Congo.*

1° Groupe inférieur. — *Grès durs feldspathiques.*

Digitized by Google

1° *Grès durs feldspathiques.*

(Couches du Kundelungu.)

Ce groupe se divise à son tour en deux systèmes superposés, séparés probablement par une nouvelle discordance.

A. *Système supérieur ou de l'Inkissi.* – Grès rouges feldspathiques avec galets.

A. *Système inférieur ou de la Mpioka.* — Schistes, psammites et grès sans galets.

A. *Système de la Mpioka.*

Ce système est constitué par des schistes argileux rouge foncé plus ou moins micacés, passant au psammite, alternant avec des grès à grain fin ou moyen, très cohérents, souvent feldspathiques, quelquefois très purs, de teinte rouge foncé, grise ou noirâtre.

Ces couches reposent sur le système schisto-calcareux en discordance de stratification; elles sont légèrement ondulées et pendent, dans l'ensemble, vers l'est, en plongeant sous le système de l'Inkissi. Contrairement à ce système, elles renferment des veines de quartz.

Le système de la Mpioka constitue le *plateau du Bangu,* qui se termine du côté de la vallée de la Lukunga par un escarpement raide couronné par la *crête de Mfumfu* et montrant la superposition de ce système sur l'assise supérieure du système schisto-calcareux. On en retrouve des lambeaux sur les hauteurs de la rive gauche de la Lukunga, vers l'ouest aussi bien que vers le sud.

B. *Système de l'Inkissi.*

Il consiste en bancs épais de grès grossiers, fortement chargés de gros grains de feldspath altéré, de teinte rouge ou brune, et remplis, surtout vers la base, de nombreux galets petits ou moyens.

Les bancs de ce système sont d'allure très régulière et en pente faible vers l'est.

A l'est de la vallée de la Mpioka, les couches de l'Inkissi se superposent à celles de la Mpioka et se dressent en un escarpement élevé que termine la *crête de Kendolo.*

Digitized by Google

Aux abords du chemin de fer, la limite occidentale des grès de l'Inkissi est reportée beaucoup plus à l'intérieur du bassin, jusque vers le village de Kinsambi.

Notre coupe montre que ces deux systèmes des grès feldspathiques, coupés par les vallées d'érosion de la Mpioka et de la Lukunga, se sont autrefois étendus considérablement vers l'ouest, à la surface de la zone schisto-calcareuse, et ont probablement atteint la zone cristalline.

2° *Grès tendres du Haut-Congo.*

(Couches de Lubilache.)

Près de Léopoldville, on les voit nettement reposer sur les grès de l'Inkissi, mais ils existent déjà plus à l'ouest, et l'on trouve des vestiges de leur ancienne extension occidentale, au moins jusqu'à la crête de Mfumfu.

Ces dépôts consistent essentiellement en grès siliceux blancs ou jaunâtres (du moins dans cette région), très purs, tendres, friables sous les doigts, formant des couches épaisses de plusieurs centaines de mètres et à stratification ondulée et entre-croisée.

Au Stanley-Pool, ils reposent sur les feldspathiques, par l'intermédiaire de bancs de grès fins, très durs, rouge foncé ou brun.

On trouve en outre sur les rives du Pool, du Haut-Congo jusque vers Bolobo, sur celles du Bas-Kassaï et sur les collines qui les bordent, jusqu'à 50 mètres au moins au-dessus de l'eau, des blocs de roches siliceuses dures à aspect de quartzite, de jaspe, etc., rouge, brun, etc., atteignant un volume colossal. Ces roches appartiennent à des assises supérieures du système, aujourd'hui enlevées dans ces régions, mais que j'ai trouvées en place dans les parties méridionales du bassin. Elles ont résisté à la destruction et à l'entraînement et sont descendues sur les pentes, grâce à leur cohérence et à leur volume.

Ce sont ces blocs qui, répandus en grand nombre à la surface du sol, à l'ouest du Pool et au moins jusqu'à la crête de Mfumfu, constituent des témoins de l'ancienne extension des grès du Haut-Congo dans cette direction.

En amont de Bolobo, on ne trouve plus sur les rives du Congo que des nappes horizontales d'alluvions argileuses et sableuses datant d'une époque où le niveau moyen du fleuve était notablement plus élevé.

Digitized by Google

M. le Dr *J. Lorié*, d'Utrecht, dépose, pour l'impression aux *Mémoires*, un travail avec planches que résume la note ci-dessous :

J. Lorié. — **Contribution à la géologie des Pays-Bas.** — Part. VIII : *Les incrustations calcaires de la mare de Rockange près Brielle, et de quelques autres mares.*

Sur l'ancienne embouchure de la soi-disant Meuse de Rotterdam, se trouve le port de Brielle et, à quelques kilomètres de là, un village du nom de Rockange, qui a acquis une certaine célébrité. Celle-ci est due à des incrustations de double nature, premièrement petites et cylindriques, secondement en blocs concrétionnés plus volumineux, en surface de chou-fleur.

Les premières descriptions qui en ont été données datent déjà de 1729 et sont surtout géographiques ; d'autres, datant du siècle actuel, traitent aussi de la nature chimique de ces incrustations.

L'auteur donne d'abord une description de l'étang ou de la mare, dans laquelle ces incrustations se sont formées; ensuite de quelques autres mares, dont certaines en contiennent de semblables. Ces étangs sont toujours les parties profondes et larges d'anciennes criques, séparées de la mer par la digue qui entoure le nouveau polder. Quand l'eau y est encore trop salée ou bien quand elle s'est trop adoucie, par suite de l'endiguement de nouveaux polders, l'incrustation n'a pas lieu.

Par ses recherches, l'auteur arrive à la conclusion que l'incrustation est due au travail de petites algues calcaires. Elles poussent tantôt sur des tiges de roseaux et forment ainsi les tubes précités, tantôt sur des blocs volumineux des colonies de Bryozoaires de l'espèce *Membranipora Lacroixii,* reconnue comme telle par le savant bryozoïste M. le Dr E. Pergens.

A la suite de la lecture de ce résumé et de l'inspection des planches, l'assemblée vote l'impression aux *Mémoires* du travail de M. J. Lorié et des planches qui l'accompagnent.

L. Dollo. — **Origine paléontologique du chien.**

L'auteur, s'aidant de figures au tableau noir, retrace, avec quelques détails, l'étude qu'il a faite sur ce sujet.

Digitized by Google

Communications diverses (non annoncées dans l'ordre du jour) :

L. Dollo. — **Le marbre griotte.**

L'auteur fait remarquer que le véritable marbre griotte des Pyrénées n'a rien de commun avec ce qu'on appelle, en Belgique, marbre griotte, ni comme âge ni comme structure.

Il décrit la griotte des Pyrénées et appelle l'attention sur les nombreuses Goniatites qu'il contient. A ce propos, il explique, en détail, ce que sont les Goniatites.

L'auteur dit ensuite que, selon M. Ch. Barrois, professeur à l'Université de Lille (une autorité incontestable en la matière), le marbre griotte des Pyrénées appartiendrait au Carbonifère inférieur.

Il recommande, d'ailleurs, l'étude du beau mémoire de M. Barrois, qui a paru, en 1879, dans les *Annales de la Société géologique du Nord*.

Digitized by Google

SÉANCE D'APPLICATIONS GÉOLOGIQUES DU 9 MARS 1897.

Présidence de M. **G. Jottrand**, *Vice-Président de la Section.*

La séance est ouverte à 8 h. 40.

M. le *Secrétaire général* se fait un plaisir d'annoncer qu'à la séance annuelle de la Société géologique de Londres, qui vient d'avoir lieu récemment, nos collègues MM. *H.-D. Woodward* et *Clement Reid* ont respectivement reçu la Médaille Murchisson et la Médaille Bigsby en récompense de leurs beaux travaux scientifiques.

Communications annoncées :

NOTE
SUR
LA RÉSISTANCE DES PIERRES NATURELLES
AUX INTEMPÉRIES

PAR

Cl. VAN BOGAERT
Ingénieur aux Chemins de fer de l'État belge.

Pour apprécier la résistance des pierres naturelles de construction aux intempéries, on n'a pas essayé, dans notre pays du moins, d'instituer des expériences systématiques de laboratoire, permettant de classer ces matériaux avec plus ou moins de certitude.

Des études assez complètes ont été faites sur les matériaux de nos monuments anciens, par MM. Rutot et Van den Broeck, géologues (1),

(1) *Note sur les matériaux ayant servi à édifier les anciens monuments de Bruxelles, etc.* (Annales de la Société d'archéologie de Bruxelles, t IV, 1890.)

Digitized by Google

par MM. Berger, inspecteur général des Pont et Chaussées (1), et Marote, ingénieur des Ponts et Chaussées (2). Ces deux derniers se sont surtout occupés des calcaires compacts des terrains devoniens et carbonifères, qui sont des plus abondants dans notre pays, et qui constituent, actuellement, la pierre à bâtir par excellence presque exclusivement employée.

A première vue, il semblerait que la méthode d'observation des monuments anciens soit la seule rationnelle, attendu qu'il est impossible de reproduire, dans un laboratoire, les effets des intempéries et surtout les répétitions et la durée des actions météoriques.

On peut objecter, avec raison selon nous, à la méthode d'observation employée seule, que l'on n'est jamais sûr, en mettant en œuvre une pierre naturelle, que celle-ci soit identique à une pierre ancienne qui a fait ses preuves dans une construction ; car l'expérience nous apprend que les pierres varient énormément en qualité, non seulement de banc à banc d'une même carrière, mais quelquefois (plus rarement) que des pierres calcaires d'un même banc, d'une même carrière, peuvent être, les unes médiocres, les autres bonnes, sans que les premières diffèrent des secondes d'une manière appréciable à la vue ; d'ailleurs des bancs de même âge géologique changent souvent de nature sur des espaces restreints ; il va sans dire que nous supposons les pierres sans défauts apparents dans tous les cas.

La méthode d'observation des monuments anciens ne donne donc qu'une probabilité, et puis, si la carrière est nouvelle et exploite des bancs non encore employés dans les temps anciens, que faire ?

En somme, l'idéal serait que le constructeur qui doit mettre en œuvre une pierre calcaire compacte, pût la recevoir en toute sécurité en la soumettant à certaines expériences à déterminer, absolument comme il apprécie de la chaux, des pouzollanes, du ciment, du sable et des briques. Mais le problème de savoir quelles sont ces expériences, est loin d'être résolu complètement. Le but de cette note est surtout de faire connaître ce qui s'est fait à l'étranger dans cette voie et d'attirer l'attention des expérimentateurs - minéralogistes sur les desiderata des constructeurs. Pour chaque catégorie de pierres, les épreuves devraient être différentes; les méthodes d'appréciation des grès calcareux seraient autres que celles des calcaires compacts de nos terrains devoniens et carbonifères.

(1) *Annales des travaux publics de Belgique*, 1890.
(2) *Annales des ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand*, 1892.

Digitized by Google

Dans l'état actuel de la question, les méthodes d'épreuve préconisées dans les mémoires, dont le résumé va suivre, ne permettent pas de distinguer les bonnes des mauvaises pierres en calcaire compact de nos terrains primaires.

Nous écartons les appréciations qui sont basées sur l'aspect de la cassure d'une pierre ou sur sa texture. Le préjugé de considérer comme une qualité la « texture grenue et cristalline » d'une pierre calcaire est tellement répandu parmi tous ceux qui s'occupent de construction dans notre pays, que cela semble avoir passé à l'état d'axiome. Cependant l'étude des monuments anciens prouve que ce sont précisément les pierres calcaires à texture très fine, très compacte, nullement grenue ni cristalline, qui bravent le mieux l'action des siècles.

D'autre part, certaines pierres calcaires qui semblent réunir toutes les qualités ne résistent que pendant quelques hivers aux intempéries. Des blocs de ces pierres, soumis à des expériences de congélation successives (1), se comportent aussi bien que les échantillons de pierres de bonne qualité, et même l'absorption d'eau, très faible d'ailleurs, est moindre pour les mauvaises pierres que pour les bonnes ; la gélivité des pierres calcaires compactes n'est donc pas due à l'expansion de l'eau passant de l'état liquide à l'état solide dans les interstices de ces pierres ; elle semble due à des tensions internes provenant de différences de température entre la surface et l'intérieur. Il résulterait de là que les pierres calcaires compactes gélives sont celles qui ont un coefficient relativement peu élevé de résistance à l'extension, sinon un pouvoir conducteur réduit. Cela devrait se vérifier par des expériences de laboratoire.

L'éclatement des cailloux, les soirs d'été, alors qu'il n'y a pas de gelée, mais un refroidissement brusque, semble être un phénomène identique à celui de la gélivité de certains calcaires compacts.

Dans ce qui va suivre nous allons *résumer* les travaux et les mémoires du Congrès international de l'unification des méthodes d'essais de matériaux de Zurich. La troisième Commission avait à s'occuper des pierres naturelles (calcaires, grès, etc.) et la quatrième Commission des ardoises.

(1) Notre confrère M. Losseau a bien voulu se charger gracieusement de faire ces expériences sur des échantillons que nous lui avons remis.

Digitized by Google

CONGRÈS DE L'UNIFICATION DES MÉTHODES D'ESSAIS DE MATÉRIAUX. — SESSION DE ZURICH.

Projet de programme de la troisième Commission.

Appréciation de la composition chimique des pierres naturelles et de leur résistance aux intempéries. Influence des fumées et en particulier de l'anhydride sulfureux :

1° Influences physiques et chimiques qui décomposent les pierres naturelles, notamment :

a) Composés de l'air et de l'eau ;

b) Végétations ;

c) Changements de température.

2° L'influence des fumées et de l'anhydride sulfureux est-elle réelle pour toutes les espèces de pierres ?

3° Quelle est l'influence du climat (pluies fréquentes, brouillards, alternatives de sécheresse et d'humidité ou orientation) ?

4° Détermination des éléments composants des pierres qui, sous l'influence des changements 1 à 3, sont attaquées le plus :

a) Chimiquement par des acides organiques et inorganiques;

b) Physiquement par dissolution, absorption d'eau, porosité, manque de cohésion, manque de dureté.

5° La résistance à la compression, la résistance aux gelées ne suffisent pas à classer une pierre naturelle ; il faut d'autres épreuves, notamment chimiques.

a) Cela est-il vrai pour toutes les espèces ?

b) Dans quel sens faut-il étendre les essais ?

6° Quelle est l'influence (au point de vue de la résistance aux intempéries) d'un changement de couleur ? Quelles sont les substances qui amènent ces changements de coloration ?

7° En quoi consistent les changements physiques et chimiques des pierres naturelles peu de temps après leur contraction et quelle est l'influence de ces changements sur la résistance aux intempéries ? Comment peut-on diminuer la durée de ces changements; comment peut-on constater cette durée et que cette période est finie ?

8° Donner un avis sur les épreuves que l'on fait subir aux pierres naturelles.

Nouvelles épreuves à proposer.

9° Avis sur les moyens de conservation employés jusqu'ici et à employer pour les pierres naturelles.

Digitized by Google

Note du professeur Hanisch, de Vienne.

M. le professeur Hanisch, n'examinant que la cinquième thèse, dit que les expériences qu'on fait dans les laboratoires pour imiter les influences atmosphériques, ne sont pas très sérieuses; il faut, pour le moment du moins, se contenter des expériences de congélation successives, qui ont une certaine valeur.

Pour bien analyser une pierre naturelle, il faudrait, dans une pierre très vieille d'un bâtiment, prendre des échantillons à la surface, puis de 3 en 3 millimètres, pour voir l'influence des temps de la surface vers l'intérieur. Cela fait, retrouvera-t-on exactement la même pierre? Ou bien les matériaux sont archiconnus, ou bien ils sont nouveaux, et alors les congélations successives, répétées vingt-cinq fois, sont suffisantes.

En ce qui concerne l'anhydride sulfureux, les ardoises doivent subir l'essai de Frésénius (1), mais il serait excessif de vouloir l'appliquer à toutes les pierres naturelles, attendu que les calcaires, tant employés, sont tous attaqués par cet acide.

M. le professeur Hanisch a constaté que la pluspart des grès et calcaires gélifs sont, en général, *jaunes*.

Note du professeur Dr Lunge, de Zurich.

Traitant la première question : Composés de l'air, M. le professeur Dr Lunge dit qu'il faut considérer en premier lieu l'humidité, car sans eau pas d'action chimique ni d'influences néfastes de végétation ou de changement de température.

Dans l'air sec, en Égypte notamment, les pierres ne sont pas attaquées, alors qu'elles le sont dans d'autres climats.

L'air agit :

1° Physiquement :

a) Par congélation;

b) Par solution mécanique de parties attaquées;

c) Par ramollissement du ciment de la plupart des grès argileux ou calcareux;

(1) L'essai de Frésénius consiste à suspendre de petits échantillons de la pierre à essayer dans un milieu constamment saturé d'anhydride sulfureux (SO_2).

Digitized by Google

d) Par l'enlèvement des produits de décomposition et la mise à nu de nouvelles surfaces attaquables;

e) Par l'usure des poussières des villes par fortes pluies.

2° Chimiquement :

a) Comme agent de dissolution d'anhydrides carbonique et sulfureux (CO_2 et SO_2);

b) M. le professeur Dr Lunge estime que les végétations ne sont pas de vrais destructeurs de la pierre, mais qu'elles peuvent en gâter l'aspect ou leur donner une patine;

c) Les changements de température ou congélations sont connus (1).

Au sujet de la deuxième question : De l'influence des fumées, surtout de SO_2, M. le professeur Dr Lunge dit que l'influence des acides forts, comme SO_2, est plus forte que celle de CO_2; SO_2 attaquant toutes les pierres, carbonates compris. Les pierres feldspathiques sont attaquées en peu d'années, comme, par exemple, les monuments égyptiens qui ont résisté dans leur pays et qui se détériorent à Paris, Londres et New-York.

Plus il y a d'acides dans les fumées, plus elles attaqueront les pierres. On prétend que les pierres se colmatent par le goudron, la suie, etc Cela paraît peu probable, l'expérience ne le prouvant pas.

Quatrième question : Quelles sont les pierres les plus influencées par les changements 1 à 3?

De l'avis du Dr Lunge, ce sont :

a) En premier lieu, les carbonates, les calcaires plus que la dolomie, quoique celle-ci s'attaque aussi ; les pierres à ciment calcaire sont plus facilement attaquées que les calcaires purs;

b) Viennent ensuite les pierres à $FeOH_3$ et à pyrites. Les premières peuvent se suroxyder et s'écailler; mais, si la pierre est poreuse, l'oxydation produit un colmatage favorable à l'augmentation de résistance;

c) Le gypse commence à se dissoudre, mais il se forme une croûte qui peut protéger le reste.

Sixième question : Les changements de coloration; ceux-ci sont souvent dus à :

a) Des composés de fer; dans ces cas, voir ci-dessus;

b) Des matières organiques; dans ce cas, la résistance n'est pas altérée.

(1) Les changements de température occasionnent parfois des bris de pierres *sans congélation*. Exemple : pour faire une réception de briques émaillées, on les plonge dans un mélange d'eau et de glycérine à — 12°, le mélange restant liquide, puis dans de l'eau à 30°; après vingt opérations, les briques de mauvaise qualité éclatent, non seulement dans l'émail, mais dans le corps de la brique. (*Note du traducteur.*)

Digitized by Google

Septième question : Changement dans les pierres peu de temps après leur extraction.

Au point de vue chimique, il y a le composé de fer (voir plus haut) et la dissolution des carbonates de chaux des ardoises par les fumées.

Un moyen de diminuer le temps d'attente serait de mettre les matériaux en dépôt près de fumées de fabriques; chasser des fumées à travers les matériaux n'est pas pratique.

Le Dr Lunge ne connaît pas de moyen de reconnaître si une pierre a subi toutes les transformations après la perte de son eau de carrière.

Huitième question : Avis sur les épreuves actuelles.

A son avis, les épreuves les plus probantes sont : l'absorption de l'eau et la résistance aux congélations; il faut beaucoup de congélations et dégels successifs. De nouvelles méthodes lui sont inconnues.

Il critique l'épreuve usitée à Berlin et qui consiste en : 1° bouillir et jeter dans l'eau froide; 2° bouillir avec 15 % de chlorure de sodium, refroidir souvent et brusquement; 3° bouillir avec de la soude caustique; 4° bouillir avec de la soude caustique et du sulfure d'ammonium; 5° bouillir avec 2 % de sulfate de fer et 2 % de sulfate de cuivre et 10 % de sel de cuisine.

Cela est simplement empirique.

D'autre part, le traitement de Berlin, c'est-à-dire faire macérer pendant cent vingt-cinq heures dans l'acide chlorhydrique chaud, paraît excessif dans la plupart des cas, car les grès calcareux et les calcaires purs, qui résistent parfaitement aux intempéries, ne résistent pas à ces épreuves, qui ne prouvent donc rien.

Pour les ardoises, le Dr Lunge préconise l'épreuve de Frésénius, et pour les grès, de constater l'absence de l'acide carbonique.

La méthode de Brard, condamnée par Bolton, ne lui paraît pas concluante au point de vue de la résistance aux congélations.

Neuvième question : Moyens de conservation.

Ceux-ci ne peuvent être jugés que pratiquement.

Le fluosilicate de magnésium préserve les ardoises riches en calcaire de l'attaque des acides.

Note des professeurs Grubenmann et Tetmayer, de Zurich.

Il est difficile, sinon impossible, d'imiter, par des essais de laboratoire, l'influence, sur les pierres, des agents atmosphériques et surtout

Digitized by Google

du temps. Les résultats des essais ne peuvent donc être que relatifs, et l'on ne peut faire que des comparaisons entre divers matériaux.

Il est inutile de s'occuper de pierres comme le granite, qui ont, d'après l'expérience, une durée illimitée ou très grande. Si l'épreuve de congélation donne une diminution de poids, c'est que l'échantillon a été endommagé lors de sa confection et que cela se montre seulement quand on fait l'épreuve.

Un carbonate de calcium, qui ne prend pas d'eau, résiste à toutes les épreuves de congélation; de même que le calcaire argileux, qui ne prend pas d'eau, alors qu'en réalité celui-ci ne résiste pas dans les constructions; une analyse pétrographique de ces dernières pierres ne suffit donc pas, et il faut recourir à l'analyse chimique.

Il est inutile de soumettre les pierres calcaires à l'influence des acides SO_2 et CO_2.

Il faut aussi voir la nature générale de la pierre, car une pierre calcaire ne prenant pas d'eau, ne se ramollit pas, tandis que les calcaires poreux et les grès à ciment calcaire peuvent se ramollir.

Les composés de l'air qui détruisent la pierre sont : CO_2, O, H_2O et SO_2.

Les composés du mortier et de l'humus, savoir :

Le sel marin, le chlorure de magnésie, les carbonates et sulfates, le salpêtre, les acides humiques, l'ammoniaque.

D'autres agents encore : la gelée, les changements de température provoquant des dilatations et des tensions.

La vie organique a une influence directe sur la pierre; d'autre part, l'oxydation de l'azote de l'ammoniaque, qui produit le salpêtre, vient probablement de bactéries.

Nous passerons en revue les principales pierres et leur résistance à ces agents.

I. *Silicates*.

1° N'absorbant pas d'eau.

2° Absorbant de l'eau.

Dans la première catégorie, on a :

a) Granite, syénite, liparite, trachyte, diorite, andésite et diabase;

b) Porphyres, basalte et mélaphyres;

c) Gneiss, ardoise et hornblende;

d) Serpentine.

Il est connu que, géologiquement, aucune roche ne résiste aux intempéries, mais il ne faut pas conclure, en voyant des granites et des por-

Digitized by Google

phyres décomposés par l'action longue des intempéries, que ces pierres ne peuvent pas servir à la bâtisse.

La grosseur des grains ne dit pas grand'chose, mais les schisteux sont les moins résistants.

Somme toute, les quatre classes ci-dessus donnent les pierres les plus résistantes qui existent pour les constructions. Les petits angles qui s'en vont dans les expériences proviennent de fissures préexistantes ou bien du travail de la taille. Le changement de couleur dans ces pierres n'est pas dangereux; elles peuvent être kaolinisées par l'influence de H_2O et CO_2 sur le feldspath, ce qui les blanchit. Quand les pierres ont une odeur argileuse, cela est mauvais et un indice de décomposition.

En cas de doute, il faut faire un *slit* (coupe mince) et des épreuves à la congélation et aux intempéries (voir plus loin).

Des silicates frais résistent aux fumées.

Dans les pierres kaolinisées et argileuses, il peut se former du sulfate d'alumine soluble, et alors elles deviennent poreuses.

Dans la deuxième catégorie, on a :

Liparite, trachyte, basalte, tuf de diabase et andésite.

Au dôme de Cologne, on a employé du trachyte et de l'andésite des Sept-Montagnes (entre autres); il y a peu d'exemples de constructions en ces pierres.

Les porphyres à odeur argileuse et à calcaire, de même que les calcaires argileux, doivent être écartés.

II. *Carbonates.*

1° Ne prenant pas l'eau, sans limés et sans fissures;

2° Ne prenant pas l'eau, schisteux, terrasseux, oolithiques et argileux;

3° Prenant l'eau : calcaires oolithiques.

Les premières ne résistent pas aux acides, perdent leur taille, leur poli et les arêtes vives s'en vont; les carbonates deviennent des sulfates par SO_2 et les carbonates des bicarbonates solubles. La résistance à la compression n'en souffre pas, mais l'aspect devient mauvais.

Les deuxièmes se délitent et les acides ont beau jeu; puis intervient l'eau passant de l'état liquide à l'état solide.

Les pierres du *Polytechnicum* de Zurich sont de cette qualité et, après vingt-cinq ans, il faut cimenter des fentes de 5 centimètres de profondeur.

Digitized by Google

Les carbonates argileux, qui paraissent ne pas absorber d'eau, se comportent d'abord comme des carbonates purs, mais ils éclatent par suite d'imprégnation d'eau et par le froid.

Les troisièmes sont comme des grès calcareux. Les acides de l'atmosphère ont une action dans les deux cas.

Les tufs calcaires à grands trous ne sont pas gélifs; à part cela, ils ont les inconvénients des calcaires.

Pour la première catégorie, il n'y a pas d'essais à faire (1).

Il faut donc voir si le carbonate ne prend pas d'eau et s'il n'est pas argileux.

Les deuxième et troisième catégories doivent subir les essais de congélation et de résistance aux intempéries.

III. *Grès.*

1° Ceux qui ne prennent pas d'eau;

2° Ceux qui prennent de l'eau, à ciment, calcaire, argileux ou siliceux.

S'ils sont à ciment calcaire, ils sont comparables aux carbonates qui ne prennent pas d'eau.

Les grès argileux, qui paraissent ne pas prendre d'eau, se ramollissent à la longue et gèlent pendant les hivers rigoureux; pour des essais de laboratoire, il faut donc que les pierres soient suffisamment imprégnées d'eau avant la congélation.

Ceux de la deuxième sorte présentent les mêmes inconvénients que les calcaires qui prennent de l'eau; souvent les grès qui sont près du sol absorbent l'eau par capillarité et souffrent plus que ceux qui sont exposés aux intempéries. Les grès calcareux se délitent; les grès purs se changent en sable.

Il faut faire attention aux substances chimiques qui pourraient venir en contact avec les pierres et les détruire.

Il faut aussi, pour l'épreuve de congélation, que les matériaux puissent non seulement se saturer d'eau (ce qui est insuffisant), mais encore laisser se produire les phénomènes d'imbibition, de ramollissement; il faut congeler vingt-cinq fois entre 15 et 20° sous zéro.

Pour les grès calcareux et siliceux ne prenant pas d'eau, il est inutile de faire d'autres essais; mais pour les grès argileux qui paraissent ne

(1) Pour les calcaires belges, cela n'est pas exact. Voir l'introduction. (*Note du traducteur.*)

Digitized by Google

pas prendre d'eau et ceux qui prennent de l'eau, il faut des essais de congélation et de résistance aux intempéries.

MM. Grubenmann et Tetmayer font suivre leur note d'une critique de l'épreuve de Berlin, déjà citée dans la note du Dr Lunge.

Ils proposent les essais suivants :

Trois cubes de 6 centimètres de côté sont, après séchage et pesage, saturés d'eau pendant vingt-huit jours, puis tous les jours, pendant six heures, congelés de — 15 à 20° centigrades, dégelés dans de l'eau saturée de CO_2 et, après quatorze heures d'action de l'eau, trois heures d'action de vapeurs d'une solution saturée de SO_2. Après cela, les cubes sont rincés et plongés pendant une heure dans le liquide qui a servi au dégel. Répéter vingt-quatre fois cette expérience.

Pour finir, on les sèche jusqu'à poids constant, et l'on éprouve à la compression. De l'aspect des cubes, de la perte de poids et de cohésion on peut juger de la pierre. Pour éliminer les influences néfastes du travail de la pierre, les cubes ne doivent être ni éclatés ni piqués, mais ciselés; on doit aussi les prendre du même bloc et marquer le lit de carrière (1).

Travaux de la quatrième Commission pour l'unification des méthodes d'essai des matériaux de construction. (Ardoises.)

Méthodes de recherche des qualités et en particulier de la résistance aux intempéries des ardoises.

Le président, M. le professeur Hauenschild, annonce qu'il a envoyé aux membres, en circulaire, le mémoire du professeur Brunner, de Lausanne.

M. le professeur Dr Lunge, de Zurich, se limite au point de vue chimique et recommande de rechercher plutôt l'anhydride carbonique que la chaux, et de faire usage de la méthode de Frésénius. Il avance que les épreuves chimiques doivent se faire de pair avec les physiques et celles de résistance.

M. le professeur Tetmayer, de Zurich, propose, dans un mémoire,

(1) Les calcaires durs belges, soumis à des changements de température brusques, donnent de nombreux éclats dans les parties piquées, mais pas sur les faces sciées ni ciselées. Ceux qui absorbent moins de 1 gramme d'eau par 2 ½ kilogrammes sont quelquefois mauvais; les autres absorbent de 2 à 3 grammes. Cela semble en contradiction avec ce qui précède. (*Note du traducteur.*)

Digitized by Google

de diviser ces essais en obligatoires et facultatifs, les premiers étant indispensables pour juger des matériaux, les seconds donnant des indications utiles sur la qualité.

Les dix essais obligatoires se confondent avec ceux de MM. Brunner et Hauenschild, et les essais facultatifs sont des expériences de ramollissement par imbibition et des recherches de carbonates.

M. le professeur Hanisch a montré l'influence de la direction du long grain sur la résistance à la flexion des ardoises; par contre, la recherche de la résistance au choc pourrait être laissée de côté. Comme essai le plus probant, il recommande l'épreuve de Frésénius. Les recherches de la résistance à la congélation iront de pair avec celles de la résistance à la flexion, comme dans les pierres la résistance à la congélation marche de pair avec la résistance à la compression.

Il est d'accord pour accepter les propositions de MM. Lunge et Tetmayer.

M. le professeur Gattschalt accepte aussi les propositions de M. Tetmayer et demande une simplification et une diminution des essais. La recherche de l'influence du long grain sur la résistance lui semble superflue. Il est de l'avis de MM. Lunge et Tetmayer, et préconise, comme ce dernier, l'essai, longtemps pratiqué, de chauffer les ardoises au rouge et les faire écailler ensuite dans l'eau (voir Brunner).

Note de M. le président Hauenschild

La question posée est en relation avec des problèmes déjà résolus et avec des problèmes qui concernent d'autres commissions (celle des pierres naturelles). M. Hauenschild rappelle les conclusions de la Conférence de Munich et toute la littérature ardoisière.

Les méthodes d'essai peuvent se diviser en physiques, chimiques et mécaniques.

L'essai de la résistance à la rupture par flexion doit se faire sur des morceaux d'égale grandeur ; cette résistance a son importance, car on doit préférer des ardoises *légères* de grande résistance aux ardoises lourdes et épaisses de même résistance. M. Hauenschild attend les propositions des membres quant à l'essai de résistance au choc (au point de vue de la grêle).

Essai de la résistance à la perforation, pour constater s'il est difficile de faire des trous aux ardoises.

Il faut un appareil pour chacun de ces deux essais.

Digitized by Google

Les essais physiques doivent se faire concurremment avec les essais chimiques.

M. Hauenschild préconise les essais suivants :

Essai pétrographique : recherche des éléments minéralogiques, macroscopiques et microscopiques. Recherche de la structure et du degré de schistosité et de fissilité maximum en rapport avec la résistance à la flexion.

Recherche de la porosité (voir Brunner).

Recherche de la résistance à la congélation.

Essai de Frésénius pour la résistance aux intempéries.

Essai chimique : recherche des carbonates et des sulfures d'après Brunner.

Recherche de l'influence de matières organiques sur la résistance des ardoises.

Recherche de l'influence de changements de température brusques, à sec et avec saturation d'eau (on pourrait appliquer ce qui se fait pour le ciment).

Note de M. le professeur Tetmayer.

Les méthodes d'essai des pierres naturelles peuvent s'appliquer en partie aux ardoises, et comme pour celles-là on ne peut pas faire d'expériences imitant les intempéries, il ne peut être question que de comparaisons.

Comme agents destructeurs on peut considérer :

1° CO_2, SO_2, O et H_2O (1);

2° La glace;

3° Les tensions résultant de changements de température et d'échauffement sur une face.

La vie organique, de même que les sels solubles infiltrants peuvent être laissés de côté.

La pluie, la neige, la suie véhiculent les acides atmosphériques. Ces acides n'ont pas d'influence sur les ardoises qui ne renferment pas de carbonates. Pour ces dernières, ces acides dissolvent et l'eau entraîne la chaux et la magnésie; il y a alors un chemin ouvert pour les infiltrations subséquentes; le sulfate de chaux peut, par son augmentation de volume, donner lieu à diminution de cohésion de l'ardoise.

De l'expérience de M. le professeur Tetmayer, la présence de carbo-

(1) C'est-à-dire les anhydres carbonique et sulfureux, l'oxygène et l'eau.

Digitized by Google

nate de chaux n'est pas de nature à faire rejeter une ardoise comme inutilisable. Il faut en rapprocher les autres qualités. Une ardoise compacte n'absorbant pas d'eau, n'est attaquée que superficiellement par les acides atmosphériques; le bicarbonate et le sulfate de chaux formés sont entraînés par l'eau; mais il n'y a que des écaillures superficielles, tandis que pour des ardoises, qui absorbent beaucoup d'eau, il se détache de grandes écailles et, pour ces dernières, l'action intérieure se superpose encore à l'action superficielle. Même dans l'épreuve de Frésénius, ces deux sortes d'ardoise se comportent différemment.

Le sulfure de fer peut être à l'état de pyrite ou de marcassite. Ordinairement, il y a des cristaux isolés de pyrite; plus rarement ils sont à l'état de veines ou de nids; en général, la pyrite résiste mieux que la marcassite à l'oxygène avec l'humidité. Si quelquefois la pyrite résiste parfaitement, d'autres fois elle se transforme par l'oxydation en sulfates solubles dans l'eau; comme il n'est pas possible d'être fixé, il faut considérer la pyrite comme un élément nuisible. Quelques cristaux à gros grains qui ne traversent pas complètement l'ardoise, ne doivent pas faire rejeter celle-ci quand elle résiste à l'essai de congélation. Des amas et des veines de pyrites traversant l'ardoise, doivent la faire rejeter. Les ardoises doivent être déclarées inutilisables quand elles offrent des pyrites ou marcassites attaquables.

L'eau qui attaque l'ardoise agit comme ramollissant de la masse ou par sa puissance expansive en se changeant en glace.

Les changements de température amènent des tensions moléculaires qui favorisent et augmentent les causes de destruction citées plus haut, sans pour cela jouer un rôle prépondérant.

M. le professeur Tetmayer recommande de renoncer complètement à l'essai de l'influence des changements de température.

Il distingue les essais en *obligatoires*, indispensables pour juger les matériaux, et *facultatifs* qui, sans être absolument nécessaires, donnent des indications utiles.

Les essais obligatoires consistent en :

1° Recherche de la couleur; recherche macroscopique de la pureté (recherche de la pyrite, de la marcassite); détermination du son requis;

2° Recherche de la structure, en particulier direction du long grain;

3° Recherche du poids spécifique sans pores.

Pour l'effectuer, on pile l'ardoise à essayer et l'on expérimente sur la portion qui passe à travers le tamis de 900 mailles au C² et qui reste sur le tamis de 4900 (tamis normaux);

4° Recherche du poids y compris les pores.

Digitized by Google

A effectuer avec des morceaux saturés d'eau, pesés à la balance hydrostatique ou par la méthode par enveloppe de paraffine;

5° Recherche de la porosité.

Celle-ci s'exprime par la formule $n = 100 \frac{V - V_0}{V} = 100 \frac{\gamma - \delta}{\gamma}$.

γ est le poids spécifique sans pores.

δ est le poids y compris les pores;

6° Recherche de la dureté par l'échelle de Mohs;

7° Recherche de la faculté d'absorption d'eau.

A faire avec trois morceaux de 12 × 5, séchés, pesés, posés dans un verre avec 2 centimètres d'eau; après vingt-quatre heures, on mesure le niveau de l'eau sur l'ardoise et l'on remplit tout le verre d'eau de manière à noyer complètement les échantillons après quarante-huit heures; après vingt-huit jours on essuie et l'on pèse;

8° Recherche de la résistance à la congélation et aux intempéries.

Les trente échantillons précédents, saturés d'eau, sont soumis journellement pendant six heures à une température de —15 à 20°, dégelés dans de l'eau saturée de CO_2 pendant quatorze heures, et ensuite pendant trois heures aux vapeurs d'une solution saturée de SO_2. Les échantillons sont ensuite lavés et placés pendant une heure dans l'eau qui a servi à dégeler; cette expérience se répète vingt-quatre fois; on constate l'état des échantillons et leur perte de poids après dessiccation.

9° Recherche de la teneur en pyrite.

A faire au moyen de 3 grammes d'ardoise finement pulvérisée, mis au bain-marie pendant dix minutes avec 20 centimètres cubes de 1 partie HCl concentré et 3 parties d'acide nitrique. Le liquide est décanté et la poudre évaporée à siccité; on répète encore deux fois cette opération. Finalement, la poudre est filtrée et lavée. Les acides réunis avec l'eau de lavage sont évaporés au bain-marie, séchés à 120°, humectés de HCl concentré, additionné d'eau, et les acides éliminés de la silice par filtration. On recherche SO_3 dans le filtre. Une autre partie d'ardoise pesée et attaquée au moyen de HCl concentré, et, pour l'élimination des acides de la silice, on procède comme précédemment et l'on recherche aussi SO_3. La différence des deux mélanges sulfureux est ensuite calculée comme soufre et convertie en $Fe\,S_2$.

10° Recherche de la faculté de ramollissement en rapport avec la résistance à la flexion.

A effectuer avec dix échantillons d'ardoise de 20 centimètres de longueur sur 15 centimètres de largeur, séchés, puis fléchis par des charges croissantes au milieu sur une portée de 15 centimètres. En

Digitized by Google

même temps, dix échantillons de mêmes dimensions, ayant trempé pendant vingt-huit jours dans l'eau, sont essayés de la même manière. La différence des deux moyennes exprimée en pour-cent de la moyenne à sec donne le coefficient de faculté de ramollissement des ardoises.

Comme essai facultatif, on peut effectuer la recherche des carbonates.

M. le professeur Tetmayer recommande la recherche de CO_2. Si la pyrite dépasse 1 °/₀, pour que H_2S ne se dégage pas avec CO_2, on met dans la solution un peu de chlorure de cuivre.

L'expérience prouve que, s'il y a moins de 1 °/₀ de $Fe\,S_2$, la présence de cette pyrite n'influence pas l'exactitude de la détermination de CO_2.

Note du professeur Hanisch, de Vienne.

M. le professeur Hanisch communique un tableau, ci-dessous reproduit, donnant la résistance à la rupture par flexion d'ardoises de différentes provenances; ces valeurs varient de 38 à 75 °/₀. Il propose donc, pour déterminer le coefficient de résistance à la rupture par flexion, d'éprouver la moitié des échantillons perpendiculairement et l'autre moitié parallèlement au long grain.

La recherche de la résistance au choc peut être laissée de côté.

M. le professeur Hanisch est grand partisan de l'essai de Frésénius.

La recherche de la résistance à la congélation doit marcher de pair avec les expériences sur la résistance à la rupture par flexion, comme pour les pierres naturelles, c'est-à-dire qu'il faut faire l'expérience des ardoises congelées, comparativement à des ardoises témoins non congelées.

Espèce	Grain.	Résistance à la rupture en kilogr. par centim. carré		Conversion de la résistance à la rupture en °/₀.	*Observations.*
		⊥ au grain.	‖ au grain.		
1	Apparent.	980	245	75	Ces nombres sont des moyennes de trois essais.
2	Id.	896	270	70	
3	Id.	919	209	77	
4	Peu apparent.	780	471	40	
5	Pas apparent.	532	332	38	

Digitized by Google

Résumé du mémoire du professeur H. Brunner, de Lausanne, sur la recherche de la qualité des ardoises.

Le professeur Brunner a été désigné comme expert dans un procès causé par le fait de toitures en ardoises de Sion complètement abîmées après *sept ans* (1 du tableau).

Il estime inutile une analyse qualitative complète; on peut rechercher l'acide silicique libre et combiné, les bases des silicates, les substances organiques, l'eau et l'acide carbonique.

A. — Épreuves physiques.

1. — *Couleur.*

Celle-ci n'est pas un signe caractéristique pour la qualité; elle varie du noir au noir bleuâtre, gris noirâtre, gris, vert et violet; les deux premières sont considérées comme un mauvais indice, mais de très bonnes ardoises belges et anglaises ont ces deux couleurs. Si les vertes ne sont pas trop cassantes, elles appartiennent aux bonnes espèces, ainsi que les violettes qui se rencontrent à Angers et à Fumay, et sont de très bonne qualité. Les dernières sont aussi très belles au point de vue architectural (tour restaurée de Lausanne par Viollet-Leduc).

2. — *Texture.*

Le long grain doit être parallèle au grand axe et non oblique ou perpendiculaire, sans cela les ardoises cassent facilement aux clous, surtout par suite de pression de la neige, réparations, etc.

3. — *Ténacité et élasticité.*

Une bonne ardoise doit être aussi dure que possible; ne pas se laisser rayer par l'ongle. D'après les tables, la dureté n'est pas caractéristique de la qualité : de mauvaises ardoises ont 2.5 à 3.5; de très bonnes, 2 seulement. La résistance d'une ardoise compacte est plus forte que celle d'une ardoise schisteuse; on peut abattre des morceaux et scier une bonne ardoise sans l'écailler. L'épaisseur augmente la résistance, mais aussi le poids; elle doit être de 5 à 7 millimètres, mais pour les ardoises de Fumay et Angers, de 3 à 4 millimètres.

Digitized by Google

Proportions et éléments

Lieu d'extraction.	Pays et canton.	Age géologique.	Couleur.	Sous le microscope.
1. Sion	Wallis.	Carbonifère.	Noir.	Pyrite.
2. Sion (1).	Id.	Id.	Gris noir.	Id.
3. Sion	Id.	Id.	Id.	Id.
4. Sion	Id.	Id.	Id.	Id.
5. Alvan	Id.	Id.	Gris foncé.	Pyrite très rare.
6. Monthermé	Ardennes.	Cambrien?	Vert.	Magnétite.
7. Embrancher . . .	Wallis.	Carbonifère.	Gris noir.	Pyrite abondante.
8. Embrancher . . .	Id.	Id.	Id.	Id.
9. Leytron.	Id.	Jurassique infr.	Gris.	Id.
10. Alvan	Id.	Carbonifère.	Gris foncé.	Traces de pyrite.
11. Outre-Rhône . . .	Id.	Id.	Id.	Id.
12. Pont de la Frenière.	Waudt.	Éocène supérieur.	Gris.	Beaucoup de pyrite
13. Plattenberg. . . .	Glarus.	Éocène Flysch.	Gris noir.	Beaucoup de pyrite et mica.
14. Diesbach	Id.	Id.	Gris noir avec points bleus.	Id.
15. Diesbach	Id.	Id.	Id.	Id.
16. Diesbach	Id.	Id.	Id.	Id.
17. ?	Belgique.	Lias.	Gris noir.	Id.
18. Fumay	Ardennes.	Cambrien.	Violette.	Traces de pyrite.
19. Angers	Maine-et-Loire.	Id.	Id.	Id.
20. Bourg-Oisans . . .	France.	Lias.	Gris noir.	Pyrite abondante.

(1) Les Nos 2, 3 et 4 renfermaient autant de carbonate de magnésie que de carbonate de calcium.

Digitized by Google

mposants de quelques ardoises.

Dureté.	Poids spécifique.	Absorption d'eau après 24 h.	Résistance à SO_2; décomposé après	Ca Co_3.	$F_2 S_2$.	Qualité.
		In millimètres.				
2	2.6901	Saturé.	3 jours.	16.252	0.9801	Mauvaise.
2	2.9060	20	11 jours.	4.831	0.882	Id.
2	2.8872	20	11 jours.	4.743	0.634	Id.
2	2.9151	20	11 jours.	4.871	0.870	Id.
2	3 0812	2	Inattaqué après 6 semaines.	Traces.	Traces.	Très bonne.
2.5	2.8135	4	Id.	—	—	Id.
2 à 2.5	2.7913	3.5	9 jours.	3.972	1.1017	Pas bonne.
2 à 2.5	2.7955	3.25	14 jours.	2.586	0.9811	Id.
3	3.1888	8	5 jours.	25.35	1.0858	Mauvaise.
2	3.1035	2	Inattaqué après 6 semaines.	Traces.	0.0316	Très bonne.
2 à 2.5	3.1248	4.5	Id.	—	Traces.	Id.
3.5	3.1559	6	2 jours.	13.0117	5.0834	Mauvaise.
2.5 à 3.5	2.9833	3.5	24 heures.	27.757	1.6739	Id.
2.5	3.0581	3	24 heures.	24.855	0.9505	Id.
2.5	2.9122	6	24 heures.	23.548	1.150	Id.
2.5	3.0604	4.5	24 heures.	21.6249	0.5592	Id.
2 à 2.5	2.7750	3	20 jours.	2.7136	0.6228	Pas bonne.
3	3.3257	3.25	Inattaqué après 6 semaines.	0.358	Traces.	Très bonne.
3	—	1.7	Id.	0.3601	Id.	Id.
2.5	3.1219	4.5	24 heures.	9.864	4.590	Mauvaise.

Digitized by Google

4. — *Dureté.*

Traitée ci-dessus. Les ardoises ont sur une face à paillettes de mica 3.5 et sur l'autre 2.5.

5. — *Poids spécifique.*

On prétend que les bonnes ardoises doivent avoir un poids spécifique de 2.8 à 2.9. D'après les tables, cela ne dit rien.

6. — *Son.*

Une bonne ardoise donne par la percussion un son clair; une mauvaise, un son étouffé.

7. — *Examen microscopique.*

Il n'est pas nécessaire de faire les coupes minces, assez longues à réaliser; il faut examiner au microscope polarisant de fines échardes. On reconnaît assez facilement la présence du carbonate de chaux, les pyrites, la marcassite, la dernière plus dangereuse que la première parce qu'elle s'hydrate plus facilement à l'air et donne l'acide sulfurique. Quand il y a de la pyrite, on remarque quelquefois des taches brunes ou jaunes d'oxyde de fer par pseudomorphose de la pyrite. Dans les ardoises de serpentine, on trouve souvent des octaèdres noirs et brillants de magnétite qui ne sont pas nuisibles. Il n'est pas rare de voir de la moscovite (paillettes micacées à la potasse); cela se voit plus rarement dans les bonnes espèces que dans les mauvaises; mais l'auteur met un point d'interrogation après cette affirmation appelant le contrôle.

8. — *Essai d'imbibition.*

On scie des morceaux de 12 × 6 centimètres et on les place dans un verre avec 1 centimètre d'eau; on couvre le verre d'une plaque et on laisse reposer pendant vingt-quatre heures. Une bonne ardoise ne se mouille que de peu (1) de millimètres au-dessus du niveau de l'eau; des ardoises schisteuses et poreuses absorbent plus d'eau et résistent par conséquent moins aux actions chimiques et physiques de l'atmosphère.

(1) D'après le tableau, cela n'est pas caractéristique; il y a un échantillon mauvais (9), qui n'a que 3 millimètres, à côté d'un très bon (11), qui a $4^{mm},5$. (*Note du traducteur.*)

Digitized by Google

B. — Essais chimiques.

On recherche le carbonate de chaux et éventuellement le carbonate de magnésie, la pyrite, et, ce qui est le plus important, on fait des essais de résistance aux intempéries.

9. — *Recherche du carbonate de chaux et éventuellement du carbonate de magnésie.*

L'ardoise finement pulvérisée est attaquée par l'acide chlorhydrique avec addition d'un peu d'acide nitrique, filtrée, lavée, séchée, chauffée à 150° pour séparer les acides de la silice, reprise dans l'acide chlorhydrique étendu d'eau; en séparer l'oxyde de fer et l'argile par l'ammoniaque et le sulfhydrate d'ammoniaque; en séparer la chaux par l'oxalate d'ammoniaque, transformé en chaux caustique et pesé. Dans le filtre, la magnésie est précipitée par le phosphate d'ammoniaque.

10. — *Recherche de la pyrite.*

Quelques grammes de poudre d'ardoise sont attaqués à chaud par de l'eau régale; on décante la solution et l'on évapore à siccité. Les solutions acides sont débarrassées de leur excès d'acide au bain-marie, étendues d'eau, et les acides de soufre sont saturés de chlorure de barium. Le sulfate de barium est pesé et l'on en déduit la teneur en soufre, donc FeS_2.

11. — *Essai de résistance aux intempéries.*

Ceux-ci sont très importants et peuvent seuls, avec les propriétés physiques, donner la valeur technique d'une ardoise. La méthode de Frésénius est sûre et élégante. On suspend au bouchon d'une bouteille, au moyen d'une ficelle, un morceau d'ardoise de 7 centimètres sur 3. La bouteille contient une solution saturée d'anhydride sulfureux. Une mauvaise ardoise est attaquée au bout de quelques jours ou même de quelques heures; elle s'écaille ou, si elle a une structure compacte, elle devient comme de l'amadou et est facile à rayer. Une bonne ardoise résiste de quatre à six semaines, même des mois. La prompte décomposition à l'air des mauvaises ardoises provient de ce qu'elles contiennent des

Digitized by Google

pyrites et du carbonate de calcium ou de magnésium; la pyrite donne de l'acide sulfurique qui attaque les autres minéraux; les carbonates, sous l'influence de l'eau acidulée de CO_2, deviennent des bicarbonates solubles dans l'eau de pluie; les ardoises se trouent, se déchirent et s'écaillent.

Par la méthode de Frésénius, les carbonates seuls sont attaqués et non les pyrites; mais elle donne une idée suffisante de la résistance pratique de l'ardoise, attendu que la décomposition des carbonates est de beaucoup la plus importante et la plus rapide. Des expériences avec l'ardoise n° 1 montrent que la teneur en pyrites d'ardoises soumises aux intempéries pendant deux ans avait peu diminué, et il n'y avait que des traces impondérables de sulfates qui, d'ailleurs, sont dissous dans l'eau. La résistance des ardoises (d'après le tableau) contre SO_2 est fonction de leur teneur en carbonates; elle y est proportionnelle, et l'on peut conclure, avec raison, que cette expérience donne une preuve réelle de la résistance des ardoises aux intempéries atmosphériques.

Finalement, on peut essayer les changements brusques de température; on sature les ardoises d'eau (pendant quelques jours) et on les expose pendant vingt-quatre heures à 150°. Une autre épreuve consiste à chauffer pendant cinq à six heures de 250 à 300° et à plonger dans l'eau froide; on peut faire les épreuves à la chaleur et au froid sur le même morceau.

Pour avoir une appréciation rapide de la qualité d'une ardoise, on tient compte des conditions physiques 1 à 8 et l'on fait, en outre, les réactions chimiques suivantes : on verse de l'HCl sur de la poudre d'ardoise; une attaque de la poudre par l'acide indique une mauvaise ardoise contenant des carbonates.

Un autre essai qualitatif et rapide consiste à chauffer de la poudre d'ardoise dans un tube à réaction : un sublimé jaune de soufre et la production de SO_2 montrent beaucoup de pyrite; donc une mauvaise ardoise.

La géologie n'apprend rien; même des ardoises de bancs de la même carrière peuvent différer beaucoup.

Les bonnes ardoises sont plus rares qu'on ne le croit; M. Hein, de Zurich, dit que dans la Suisse orientale on rencontre très peu de bonnes ardoises; on y emploie des gneiss et micaschistes.

Les ardoises de Wallis sont de la période *houillère;* les autres ardoises suisses sont tertiaires et se trouvent dans le Flysch de l'Éocène supérieur.

Digitized by Google

(Note du traducteur.)

Tout ce qui précède n'est pas sans donner lieu à des objections : ainsi il est avéré que les ardoises d'*Herbeumont*, qui contiennent beaucoup de pyrites, sont parmi les plus résistantes connues : des toits existent depuis cent ans sans renouvellement; en Belgique, il n'y a probablement pas d'ardoises avec carbonates, et c'est surtout cela qui est mauvais; la méthode de Frésénius ne donne, en somme, que ceci : c'est que les ardoises qui contiennent des carbonates doivent être condamnées.

M. *Rabozée*, empêché d'assister à la séance, a fait parvenir le projet suivant de circulaire relative au classement stratigraphique des carrières belges et des matériaux qui en proviennent.

RABOZÉE. — **Appel aux géologues spécialistes en vue du classement stratigraphique des carrières belges et des matériaux qui en proviennent.**

Les matériaux que la Société belge de Géologie se propose de réunir et d'exhiber à l'Exposition de Bruxelles devraient être classés en cinq catégories :

A. Marbres.
B. Pierres à bâtir.
C. Pavés et carreaux.
D. Ardoises.
E. Produits artificiels : briques, tuiles, etc.

Dans chacune de ces catégories, les échantillons seraient rangés suivant l'ordre correspondant aux subdivisions adoptées par la *Légende de la Carte géologique de Belgique*.

Chaque échantillon aurait son signalement donné par une étiquette portant : l'indication du niveau géologique (groupe, système, étage, assise); le nom de l'exploitant, celui de la carrière et éventuellement du banc dont il provient.

Exemple :

PIERRES A BATIR.

Groupe primaire. — Système carboniférien. — Étage viséen (V).
Assise de Visé (V_2). — Banc de pieds.

Nom de la carrière . . . . . .
Nom de l'exploitant. . . . . .

Digitized by Google

On constituerait ainsi une collection montrant, sous une forme expressive, le classement stratigraphique des carrières belges et des matériaux qui en proviennent; l'intérêt scientifique de l'exhibition serait, de cette façon, considérablement augmenté.

Pour faire ce travail de classement méthodique, on pourrait très utilement s'adresser aux géologues spécialistes, notamment à ceux qui, chargés de lever la carte du pays, ont étudié toutes les carrières et en ont déterminé le niveau géologique.

On leur ferait parvenir un tableau donnant la liste des échantillons à exposer, en les priant de compléter, chacun en ce qui le concerne, les renseignements fournis déjà par les exploitants et par les organisateurs de l'exposition des matériaux de construction.

Digitized by Google

SÉANCE MENSUELLE DU 30 MARS 1897.

Présidence de M. **A. Renard**, *Président.*

La séance est ouverte à 8 h. 45.

Correspondance :

Le *Musée de Bergen* accepte l'échange de nos publications contre les siennes; il consent à faire remonter cet échange à l'année 1889.

Le *Comité du Congrès géologique international de Russie* fait connaître que, en présence du grand nombre de géologues qui ont adhéré au Congrès, *seuls, les géologues*, c'est-à-dire les personnes qui se sont fait connaître par des publications géologiques, seront admis à profiter des facilités accordées pour leur voyage en Russie et leur participation aux excursions.

M. *Karpinsky*, membre de l'Académie impériale des sciences de Saint-Pétersbourg, remercie pour sa nomination de membre honoraire.

M. *Lambert*, pour sa nomination de membre associé étranger.

M. *Eug. Dubois*, de La Haye, pour sa nomination de membre effectif.

MM. *Cornet*, *Klement*, *Mourlon*, *Storms* et *Willems*, pour leur nomination de membre du Conseil de la Société, et, enfin, M. *Lancaster*, pour sa nomination de Vice-Président de la Section d'applications.

Digitized by Google

Dons et envois reçus :

1° De la part des auteurs :

2291. **Barrois, Charles.** *Sur les phénomènes littoraux actuels du Morbihan.* Lille, 1896. Extrait in-8° de 45 pages et 2 planches.

2292. **Bertrand, C.-Eg.** *Nouvelles remarques sur le Kerosene Shale de la Nouvelle-Galles du Sud.* Autun, 1896. Extrait in-8° de 114 pages.

2293. **Choffat, Paul.** *Sur les dolomies des terrains mésozoïques du Portugal.* Lisbonne, 1896. Extrait in-8° de 16 pages.

2294. **Draghicénu, Math.-M.** *Les tremblements de terre de la Roumanie et des pays environnants.* Bucharest, 1896. Volume in-8° de 84 pages, 1 portrait et 1 planche.

2295. **Félix, Jules.** *Note sur l'emploi thérapeutique de l'eau de mer chauffée.* Ostende. In-8° de 10 pages.

2296. — *De l'importance de l'hydrologie médicale.* Paris, 1896. Extrait in-8° de 20 pages.

2297. — *De l'importance de l'étude de la mésologie en médecine pratique.* Paris, 1897. In-8° de 15 pages.

2298. **Guldberg, G.** and **Nansen, F.** *On the development of the Dolphin.* Bergen, 1894. In-4° de 70 pages et 7 planches.

2299. **Jensen, O.-S.** *Turbellarier ved Norges vestkyst.* Bergen, 1878. In-4° de 97 pages et 8 planches.

2300. **Jones, T.-R.** *On the fistulose Polymorphinæ and on the genus Ramulina.* Londres, 1896. Extrait in-8° de 20 pages.

2301. **Karrer, F.** *Führer durch die Baumaterial-Sammlung des k. k. Naturhistorischen Hofmuseums.* Vienne, 1894. Volume in-8° de 355 pages.

2302. **Koren, J.** og **Danielssen D.-C.** *Nye Alcyonider, Gorgonider og Pennatulider tilhorende Norges fauna.* Bergen, 1883. Volume in-4° de 38 pages et 13 planches.

2303. **Lambert, J.** *Études sur les Échinides.* La Rochelle, 1887. Extrait in-8° de 36 pages et 1 planche.

2304. — *Étude comparative sur la répartition des Échinides crétacés dans l'Yonne et dans l'est du bassin de Paris.* Auxerre, 1894. Extrait in-8° de 84 pages et 2 planches.

2305. — *Études morphologiques sur le plastron des Spatangides.* Auxerre, 1893. Extrait in-8° de 98 pages.

Digitized by Google

2306. — *Note sur un nouveau genre d'échinide de la craie de l'Yonne.* Auxerre, 1888. Extrait in-8° de 44 pages.

2307. — *Note sur le développement de l'Echinospatangus Neocomiensis d'Orbigny.* Auxerre, 1889. Extrait in-8° de 19 pages.

2308. — *Note sur un cas de monstruosité de l'apex chez l'Echinocorys vulgaris.* Auxerre, 1890. Extrait in-8° de 10 pages.

2309. **Lerange, A.-L.** *Den Yngre Jernaldlers Svaerd.* Bergen, 1889. Volume in-4° de 80 pages et 8 planches.

2310. **de Loë, A.** *Rapport sur les fouilles exécutées par la Société d'archéologie de Bruxelles pendant l'exercice de 1896.* Bruxelles, 1897. Extrait in-8° de 43 pages.

2311. **Lotti, B.** *Inocerami nell' Eocene del Casentino (Toscana).* Rome, 1896. Extrait in-8° de 8 pages et 1 planche.

2312. — *Sul rilevamento geologico eseguito in Toscana nell' anno 1895.* Rome, 1896. Extrait in-8° de 4 pages.

2313. **de Margerie, E.** *Catalogue des bibliographies géologiques.* Paris, 1896. Volume in-8° de 733 pages.

2314. **Martel, E.-A.** *Irlande et cavernes anglaises.* Paris, 1897. Volume in-8° de 394 pages.

2315. **Martin, K.** *Mammuthreste aus Niederland.* Berlin, 1892. Extrait in-8° de 4 pages.

2316. **de Mortillet, G.** *Terrasse inférieure de Villefranche-sur-Saône. Industrie et faune.* Paris, 1895. Extrait in-8° de 6 pages.

2317. — *Réforme des livres d'enseignement.* In-8° de 4 pages.

2318. — *Évolution quaternaire de la pierre.* Paris, 1897. Extrait in-8° de 9 pages.

2319. **Nansen, Fr.** *Bidrag til Myzostamernes anatomi og Histologi.* Bergen, 1885. Volume in-4° de 80 pages et 9 planches.

2320. **Oebbeke.** *Nutzbare Gesteine und Mineralien des Königreichs Bayern auf der Bayer. Landes-, Industrie-, Gewerbe- und Kunst-Ausstellung zu Nürnberg 1896.* Munich, 1896. In-8° de 79 pages. (2 exemplaires.)

2321. **Omboni, G.** *Commemorazione del Barone Achille de Zigno.* Venise, 1897. Extrait in-8° de 40 pages.

2322. **Péron, A.** *Notes pour servir à l'histoire du terrain de craie dans le sud-est du bassin anglo-parisien.* Auxerre, 1887. Volume in-8° de 280 pages et 8 planches.

Digitized by Google

2323. **Portis, A.** *Ai Colleghi della societa geologica italiana.* Rome, 1897. In-8° de 14 pages.

2324. **de Rouville, P.-G.** *L'Hérault géologique.* Montpellier, 1862-1894. 2 vol. in-4° de 122 planches et textes.

2325. **Sacco, Fr.** *Sur la classification des terrains tertiaires.* Zurich, 1894. Extrait in-8° de 12 pages.

2326. **Stapff, F.-M.** *Beobachtungen an den in Kreide eingebetteten Diluvialablagerungen Rügens.* Weissensee, 1891. Extrait in-8° de 8 pages. (2 exemplaires.)

2327. **Tutkowski, P.** *Ueber den posttertiären Mergel des Dorfes Kultschin.* Saint-Pétersbourg, 1896. Extrait in-4° de 8 pages.

2328. **de la Vallée Poussin, Ch.** *La géographie physique et la géologie.* Bruxelles, 1896. Extrait in-8° de 23 pages.

2329. **Verbeek** et **Fennema.** *Description géologique de Java et Madoura.* 2 volumes in-8° de 1183 pages et planches.

2° Extraits des publications de la Société :

2330. **Bayet, L.** *Première note sur quelques dépôts tertiaires de l'Entre-Sambre-et-Meuse.* 1897, 28 pages et 1 planche. (2 exemplaires.)

2331. **Bernays, Ed.** *Recherches dans les sables diestiens dits à « Isocardia Cor » mis à jour lors du creusement de l'écluse du bassin Lefèvre en 1894 et 1895.* 1897, 16 pages et 1 planche. (2 exemplaires.)

2332. **Cornet, J.** *Observations sur la géologie du Congo occidental.* 1896, 10 pages. (2 exemplaires.)

2333. **Hans, J.** *A quoi peut servir une Société de géologie dans le domaine des applications pratiques.* 1897, 48 pages. (2 exemplaires.)

3° Périodiques nouveaux :

2267. Bergens Museum. Mémoires in-4°, 1878, 1883, 1885, 1889, 1894.

2268. Australian Mining Standard. XII, 1896, avec un supplément.

2269. Bulletin de la Société Vaudoise des sciences naturelles, XXXII, 1896, n° 122.

2288. Geological literature. Geological Society of London, 3, 1896.

Digitized by Google

Présentation et élection de nouveaux membres :

Sont présentés et élus par le vote unanime de l'assemblée en qualité de membres effectifs :

MM. Bayet, le baron Ernest, paléontologiste, rue Joseph II, 58, à Bruxelles.

Combaz, Paul, professeur à l'Académie des beaux-arts, rue de la Banque, 10, à Bruxelles.

De Graef, Joseph, négociant, rue Oudenkovers, 21, à Borgerhout lez-Anvers.

Dejardin, L., directeur des mines, rue du Trône, 186, à Ixelles.

Guchez, F., inspecteur des explosifs, rue de Cologne, 94, à Schaerbeek.

Harzé, Ém., directeur général des mines, rue de la Loi, 213, à Bruxelles.

Watteyne, V., ingénieur principal des mines, avenue de la Couronne, 138, à Ixelles..

Communication des membres :

RECHERCHES SUR LE MODE DE FORMATION DES MÉTÉORITES PIERREUSES (CHONDRITES)

PAR

A.-F. RENARD

Dans la notice relative à la météorite tombée à Lesves le 21 avril 1896, M. Renard exprimait l'opinion que cet aérolithe devait sa structure à des phénomènes cataclastiques (1). Depuis la publication de cette description sommaire de la météorite dont il s'agit, l'auteur a poursuivi ses recherches, et il croit pouvoir appliquer cette manière de voir à la plus grande partie des météorites chondritiques : il est conduit ainsi à rejeter l'origine polygène qu'on avait attribuée à la

(1) *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, t. XXXI, p. 654.

Digitized by Google

généralité des chondrites. Le titre de cette communication et ce qu'on vient de dire indiquent nettement le point de vue auquel se place l'auteur pour expliquer la nature et le mode de formation de ces météorites, à la fois les plus fréquentes et les plus problématiques.

On sait que pour rendre compte de diverses particularités de leur structure, on a généralement invoqué pour les chondrites une origine pyroclastique : elles se seraient formées par l'agglomération de particules volcaniques, comme nous voyons se former les tufs. M. Renard propose d'expliquer les particularités de leur structure en admettant que ces aérolithes ont été soumis à des actions de métamorphisme dynamique pendant qu'ils faisaient encore partie du corps cosmique, dont ils sont des fragments. Ces météorites ne seraient donc pas toutes constituées par des substances projetées à la manière des produits subaériens de nos volcans terrestres, des cendres et des tufs plus ou moins consolidés; mais un grand nombre de chondrites seraient des éclats de roches cristallines dont la structure a été modifiée par cataclase. Cette application du métamorphisme mécanique à l'étude de ces corps cosmiques permet d'établir une analogie de plus entre les météorites et les roches terrestres. L'auteur ne va pas jusqu'à nier l'existence de roches tufacées dans la série des météorites chondritiques étudiées jusqu'ici. Il est certain qu'elles *peuvent* être pyroclastiques, effusives, intrusives ou intra-telluriques; mais il croit pouvoir montrer qu'un grand nombre de ces météorites envisagées comme étant de nature tufacée ne sont pas pyroclastiques, et qu'en tout état de cause, le métamorphisme dynamique a laissé sur presque chacune d'elles son empreinte. M. Renard admet qu'en tenant compte de cette action modificatrice, on interprète facilement des faits restés obscurs jusqu'ici, qu'on écarte des causes d'erreur et les divergences d'opinion qui se sont produites au sujet de ces roches et qu'on généralise, en l'étendant aux corps cosmiques, un ordre de faits reconnus jusqu'ici aux seules roches terrestres.

Dans ce résumé sommaire des vues de l'auteur, on ne peut indiquer tous les arguments invoqués en faveur de l'origine polygène des chondrites. M. Renard renvoie à l'ouvrage de Tschermak, *Die mikroskopische Beschaffenheit der Meteoriten*, 1885, où l'on trouve exposées toutes les raisons qui paraissent militer en faveur de cette théorie. Dans les pages qui servent d'introduction à cette collection unique de photographies de météorites, on trouvera les faits qui conduisent à admettre que les chondres sont des gouttelettes de matière lavique projetée, que la pâte ou masse fondamentale des chondrites est de nature

Digitized by Google

tufacée, etc. C'est l'hypothèse d'une formation volcanique dans le sens strict du terme que Tschermak adopte; pour lui, les chondrites sont des produits volcaniques incohérents consolidés à la manière des tufs. D'autres, Kenngott Wadsworth, Brezina, Foullon, etc., n'ont pas admis cette interprétation; pour eux, les éléments des chondrites ont cristallisé *in situ* et ne portent pas de trace de clasticité. Comme ces savants, l'auteur croit que les chondres sont formés en place, de même que la masse fondamentale; mais il est porté à penser qu'on a laissé jusqu'ici dans l'ombre un caractère saillant : c'est que ces aérolithes montrent qu'ils ont été soumis à des phénomènes de pression intense, qui peut avoir été poussée jusqu'à la pulvérisation intime des minéraux constitutifs. Ce trait de la structure, une fois nettement reconnu, permet d'interpréter, mieux qu'on ne l'a fait, l'origine de ces roches cosmiques. Si, à la connaissance de l'auteur, on n'a pas encore tenté d'aborder ce problème en faisant entrer en ligne de compte le métamorphisme dynamique, c'est peut-être parce que cette théorie assez récente n'était pas admise dans la science au moment où furent publiés les mémoires des savants qui viennent d'être cités. M. Renard admet toutes les raisons sur lesquelles s'appuient ceux qui acceptent la formation *in situ* des éléments minéralogiques des chondrites. Il insiste sur les faits suivants, qui plaident en faveur de cette interprétation : les chondres ne sont jamais des fragments arrondis de roches; ce sont des minéraux de même nature que la masse fondamentale; toutes les espèces qui constituent les météorites dont il s'agit, sauf peut-être la troïlite, ont une tendance à cristalliser en affectant des formes plus ou moins sphériques; dans les phénocristes et dans la masse fondamentale, on ne voit rien qui rappelle nettement les particules volcaniques projetées à l'état meuble lors des éruptions : on n'y trouve pas notamment de lapilli, de fragments vitreux avec leur cassure et leur forme spéciale, de cendres, de cristaux revêtus de matière vitreuse, on n'y constate ni la structure bulleuse ni celle dite ponceuse. Le verre qu'on y observe est ou bien un produit de fusion de la croûte, ou bien il est interstitiel; jamais il n'est fragmentaire. Sans s'appesantir sur ces particularités et sans détailler toutes les différences que présentent les produits volcaniques incohérents et les météorites dont on les a rapprochés, M. Renard conclut en disant que les chondrites sont, pour la majorité des cas, de nature cristalline; ce sont des roches massives. Mais comment interpréter l'aspect clastique qu'ils présentent presque tous et qui doit avoir fait naître l'opinion que les pierres sont polygènes? Il suffit d'un coup d'œil sur les remarquables photographies

Digitized by Google

micrographiques de l'atlas de Tschermak pour se convaincre du caractère clastique des chondrites; mais on constate bientôt que les fractures qui sillonnent les phénocristes ne sont pas dues au transport : les fissures très fines et les crevasses plus larges qui les traversent ont été incontestablement provoquées par des actions qui se sont produites lorsque les éléments minéralogiques constituant ces roches étaient déjà réunis dans la roche. C'est ce qui découle à l'évidence du fait qu'un plus grand nombre de cristaux brisés montrent, presque juxtaposés, leurs fragments détachés : ces pièces de rapport prouvent, par leur position relative, que nous n'avons affaire ici qu'à des phénomènes de dislocation, et qu'il est impossible de faire intervenir la trituration et le transport. (Voir en particulier les fig. I, 3; II, 2, 3, 4; III, 4; IV, 4; VI, 2, 4, etc., de l'atlas de Tschermak). M. Renard rappelle en outre qu'il a constaté dans la météorite de Lesves des extinctions roulantes et la *structure en mortier;* il montre qu'autour d'une grande section cristalline d'aspect ruiniforme, à bords fissurés, gisent des fragments détachés réduits en poussière et qui forment comme le ciment des grains de plus grande dimension. Ces détails micrographiques sont incontestablement ceux qu'on constate dans les cas de métamorphisme mécanique provoqué dans les roches terrestres sous l'influence des mouvements orogéniques. Les roches péridotiques terrestres, celles qui se rapprochent le plus des corps cosmiques dont il s'agit et qui ont été soumises à cette action modificatrice, nous montrent des faits analogues. L'auteur interprète de la même manière la structure des chondrites et l'aspect tufacé de leur masse fondamentale. Ces météorites étaient à l'origine holocristallines, très probablement des roches profondes ou intrusives, qui, broyées sous l'influence des actions dynamiques, ont été modifiées au point de présenter une pseudo-masse fondamentale d'où se détachent les restes des grains cristallins primitifs. Ceux-ci n'ont pas été entièrement pulvérisés, l'effort mécanique s'y traduit cependant par les fissures qui les traversent et les dislocations qu'ils ont éprouvées. Lorsque ces phénomènes se produisent dans les roches terrestres, ils sont généralement accompagnés ou suivis d'actions chimiques qui restituent à la masse broyée une certaine continuité. Si les météorites pierreuses n'ont pas subi cette recimentation, si les particules constitutives sont en quelque sorte restées incohérentes, au point qu'on a pu prendre ces aérolithes pour des éclats d'une roche tufacée, c'est que l'eau, ce véhicule de presque toutes les réactions minérales, manquait dans ces masses et que les actions oxydantes y étaient réduites au minimum.

Digitized by Google

Il est presque inutile de rappeler qu'on peut rencontrer des chondrites qui sont de nature tufacée et que depuis longtemps on a trouvé des météorites bréchiformes. Le but de l'auteur n'a pas été d'infirmer ni de confirmer ces faits; il s'est proposé d'interpréter la structure pseudo-clastique que beaucoup d'entre elles présentent, comme ayant été provoquée par le métamorphisme dynamique, appliquant ainsi à ces corps cosmiques le même mode d'interprétation qui a permis de dévoiler l'origine d'un grand nombre de roches terrestres, envisagée jusqu'ici comme indéchiffrable.

Communications diverses :

M. *Rutot* dépose un mémoire intitulé : **Les âges hesbayen, campinien et moséen. Le Tertiaire supérieur**, faisant suite à celui, déjà présenté, sur le Flandrien.

Ces deux travaux réunis pourront paraître sous le titre : *Les origines du Quaternaire de la Belgique.*

M. Rutot dit qu'en partant du réseau des vallées indiqué par les profondeurs de la mer flandrienne, il a pu remonter l'histoire des temps quaternaires, en s'aidant des travaux de MM. Ladrière, van Overloop, Stainier et Mourlon. Il a pu ainsi assigner à chaque âge les phénomènes caractéristiques indiqués par la nature des dépôts; il a pu aussi esquisser l'histoire, au travers des temps tertiaires et quaternaires, du cours de l'Escaut et de la Meuse, et a pu fournir des croquis de ces cours.

Partant de ces données, l'auteur a exposé quelle pourrait être la nouvelle échelle stratigraphique du Quaternaire de notre pays.

Après avoir entendu le résumé du travail présenté, l'assemblée en vote l'impression aux *Mémoires*.

ANNEXE A LA SÉANCE DU 30 MARS 1897.

A. Gobert. — Nouveau procédé pour la congélation des terrains aquifères et des sables boulants.

Le procédé de congélation des terrains aquifères et des sables boulants, employé jusqu'à ce jour, comprend l'enfoncement dans le sol aquifère d'un certain nombre de tubes appelés tubes congélateurs, et la

Digitized by Google

circulation, à l'intérieur de ces tubes, d'air refroidi sous zéro ou d'un liquide refroidi sous zéro.

L'air refroidi sous zéro présente l'inconvénient d'être un véhicule peu puissant du froid, et le liquide refroidi sous zéro présente l'inconvénient de devoir être incongelable à la température à laquelle on le fait circuler dans les tubes. Cette incongélabilité du liquide est indispensable; c'est parce que le liquide est incongelable qu'il peut circuler dans les tubes, malgré une température inférieure à zéro, température indispensable pour amener la congélation des terrains aquifères qui entourent les tubes.

L'incongélabilité du liquide présente le danger suivant :

La moindre fissure qui se produit dans les tubes permet au liquide incongelable de s'échapper dans le sol et de communiquer à celui-ci son incongélabilité.

A cause de la circulation du liquide incongelable, circulation que l'on est obligé de maintenir à l'intérieur des tubes, la pression à l'intérieur de ceux-ci se trouve être nécessairement plus grande que la pression de la nappe aquifère à l'extérieur des tubes.

Cette différence de pression résulte de la circonstance suivante : Le niveau de la nappe aquifère est inférieur au niveau du sol, ou, tout au plus, égal à ce niveau, tandis que le réfrigérant de la machine à froid est nécessairement placé à un niveau plus élevé que celui du sol. C'est dans ce réfrigérant que le liquide incongelable revient pour reprendre le froid qu'il a abandonné au sol, pendant la circulation à l'intérieur des tubes congélateurs.

Cet excès de pression à l'intérieur des tubes congélateurs produit nécessairement la déperdition du liquide incongelable en cas de fissure dans les tubes, ou de manque d'étanchéité des joints qui réunissent ces tubes.

Pour parer à cet inconvénient, je procède comme suit :

J'enfonce dans le sol des tubes congélateurs comme dans l'ancienne méthode, mais au lieu d'envoyer dans ces tubes un liquide refroidi à une température inférieure à zéro, j'envoie dans ces tubes de l'ammoniaque liquide anhydre ou presque anhydre. Cette ammoniaque liquide possède à son entrée dans les tubes une température supérieure à zéro. Dans la pratique, cette température peut varier de 20° C. à 35° C. au-dessus de zéro. Toutefois je ne me limite pas à ces chiffres; je me borne à déclarer que la température du liquide à l'entrée sera toujours supérieure à zéro.

L'ammoniaque liquide se vaporise dans les tubes congélateurs, et

Digitized by Google

cette vaporisation produit un froid intense qui congèle le terrain aquifère autour des tubes.

Une machine aspire l'ammoniaque gazeuse hors des tuyaux congélateurs et l'oblige à repasser à l'état liquide, de sorte que la même quantité d'ammoniaque sert indéfiniment.

La machine peut être indifféremment à compression ou à absorption. Cette machine constituera ainsi avec les tubes congélateurs, une machine à froid complète. Ce sont les tubes congélateurs eux-mêmes qui constituent ici cette partie essentielle de toute machine à froid que l'on nomme le réfrigérant.

Il résulte de cette disposition une grande économie dans les frais d'installation indispensables pour la congélation d'un terrain aquifère. Mon procédé comporte l'économie du réfrigérant employé jusqu'à présent, l'économie du liquide incongelable, l'économie de la pompe qui fait circuler ce liquide et l'économie de la force motrice nécessaire pour activer cette pompe.

Il résulte aussi de mon invention que le froid dont je dispose est plus intense que celui qui, dans la méthode ancienne, est fourni par le liquide incongelable; ce liquide incongelable se refroidit dans un réfrigérant, grâce à l'ammoniaque faisant son expansion à l'intérieur d'un serpentin, plongé dans le liquide incongelable. Il est clair que le corps refroidi — qui est ici le liquide incongelable — ne peut acquérir une température aussi basse que celle du corps refroidissant, puisque, d'après une loi bien connue de la physique, la quantité de froid qui passe à travers les parois du serpentin, dépend de la différence des températures entre le gaz qui est à l'intérieur du serpentin et le liquide qui est à l'extérieur. Si ces températures étaient égales, il n'y aurait plus de refroidissement.

Pour résumer ce qui précède, je dis que mon invention supprime le liquide incongelable, intermédiaire qui présente le triple inconvénient d'être dangereux, d'être coûteux et de diminuer la puissance frigorifique dont on dispose par l'évaporation de l'ammoniaque liquide.

On peut, au moyen de la machine à froid, et en la réglant, produire dans les tubes congélateurs des froids d'intensité différente, en faisant varier la pression qui règne à l'intérieur de ces tubes.

Voici les températures qui correspondent à différentes pressions :

— 35° C. correspondent à une pression de neuf dixièmes d'atmosphère.

— 32° C. correspondent à la pression atmosphérique.

— 30° C. correspondent à une pression de une atmosphère et quinze centièmes.

Digitized by Google

— 25° C. correspondent à une pression de une atmosphère et quarante-six centièmes.

— 20° C. correspondent à une pression de une atmosphère et quatre-vingt-quatre centièmes.

On voit par ces chiffres que si l'on maintient la température dans les tubes congélateurs à — 20°, la pression dans les tubes sera égale à la pression atmosphérique majorée de quatre-vingt-quatre centièmes d'atmosphère. Si donc la nappe d'eau souterraine à congeler arrivait jusqu'au niveau du sol, il en résulterait qu'à l'endroit où le tube congélateur sort du sol, la pression extérieure de l'eau, qui est égale à une atmosphère, serait inférieure de quatre-vingt-quatre centièmes d'atmosphère à la pression du gaz dans le tube, et le gaz pourrait, dans le cas d'un joint non étanche, s'échapper dans le sol. Cette perte de gaz pourrait se produire jusqu'à la profondeur de 9 mètres environ, mais à cette profondeur la pression intérieure et la pression extérieure se feraient équilibre, et, pour toutes les profondeurs plus grandes, la pression extérieure serait plus grande que la pression intérieure. Dans le cas de manque d'étanchéité, ce n'est donc pas l'ammoniaque qui s'échapperait dans le sol, mais, au contraire, ce serait l'eau du sol qui pénétrerait dans le tube congélateur.

Mais si, au lieu de marcher à une température de — 20°, on marche à une température de — 32°, la pression du gaz correspondant à cette température est alors égale à la pression atmosphérique, et toute crainte d'irruption d'ammoniaque dans le terrain disparaît entièrement.

Comme on connaîtra toujours facilement le niveau de la nappe aquifère autour des tubes congélateurs, on réglera facilement la pression à l'intérieur des tubes de façon à empêcher tout danger de fuite de l'ammoniaque dans le terrain.

Il n'y a donc pas lieu de craindre dans la nouvelle méthode la transformation désastreuse du terrain, comme dans le cas du liquide incongelable, circulant dans l'intérieur des tuyaux avec une pression qui est toujours, et à toutes les profondeurs, nécessairement supérieure à la pression de l'eau dans le terrain autour des tubes.

Les tubes congélateurs sont fermés par le bas; dans la partie supérieure, ils ont deux tubulures; l'une sert à introduire le tuyau, qui amène l'ammoniaque liquide, l'autre sert à introduire le tuyau par lequel le gaz, après avoir parcouru tout le tube congélateur, s'échappe pour retourner à la machine qui le transforme en liquide.

Je ne limite pas mon invention à l'emploi de l'ammoniaque. On peut employer au lieu d'ammoniaque n'importe quel autre liquide susceptible

Digitized by Google

de prendre facilement la forme gazeuse, tel que l'acide carbonique liquide ou l'acide sulfureux anhydre liquide. Toutefois je ne borne pas mon invention aux trois liquides ci-dessus nommés. Je fais remarquer encore que pour l'acide carbonique comme pour l'acide sulfureux anhydre, il faudra nécessairement une machine à compression et non pas une machine à absorption.

En résumé, je revendique comme mon invention le procédé qui consiste à congeler les terrains aquifères et les sables boulants au moyen d'un liquide arrivant dans les tubes congélateurs à une température supérieure à zéro, se transformant en gaz dans ces tubes congélateurs, produisant ainsi des froids plus intenses que ceux dont on a disposé jusqu'à présent, avec suppression du danger de rendre le sol incongelable autour des tubes et avec diminution des dépenses d'installation, grâce à la suppression du liquide incongelable et du réfrigérant, ou, ce qui est la même chose, grâce à la transformation en réfrigérant des tubes congélateurs eux-mêmes.

Digitized by Google

SÉANCE MENSUELLE DU 27 AVRIL 1897.

Présidence de M. **A. Renard**, *Président.*

La séance est ouverte à 8 h. 45.

Correspondance :

M. *Hector Fagès* nous fait part de la mort de son père, M. *Gustave Fagès,* ancien directeur général des Charbonnages de Bernissart, notre regretté confrère. — *Condoléances.*

M. *de Dorlodot* nous prie de présenter à l'assemblée une note relative au Calcaire carbonifère d'Arquenne et des Écaussines.

La dolomie, considérée par MM. Lohest et Velge comme inférieure aux calcaires à phtanites exploités près de Pont d'Arquenne, est en réalité supérieure à ces calcaires et constitue un facies dolomitique de la base du petit granit. Aux Écaussines, la faune tournaisienne monte, comme à Tournai, bien au-dessus du sommet du petit granit.

M. *L. Dollo* signale la perte considérable que la science vient de faire en la personne de M. *E.-D. Cope* (*1840-1897*), professeur à l'Université de Pensylvanie, à Philadelphie. Il rappelle brièvement la longue et brillante carrière de cet illustre paléontologiste, si original dans tous ses travaux, et il insiste particulièrement sur les recherches de Cope sur les Reptiles et sur les Mammifères fossiles.

Dons et envois reçus :

1° De la part des auteurs :

2334. **Andreae, A.** *Führer durch die Sammlung für allgemeine Geologie.* Hildesheim, 1897. Extrait in-16° de 37 pages.

2335. — *Führer durch die Gesteins-Sammlung oder petrographische Sammlung des Roemer-Museum.* Hildesheim, 1896. Extrait in-16° de 92 pages.

Digitized by Google

2336. **Guébhard, A.** *Tectonique d'un coin difficile des Alpes-Maritimes.* Paris, 1894. Extrait in-8° de 8 pages.

2337. — *Esquisse géologique de la commune de Mons (Var).* Draguignan, 1897. Extrait in-8° de 99 pages et 2 planches.

2338. **Kilian, Zurcher** et **Guébhard.** *Notice sur la région d'Escragnolles (Alpes-Maritimes).* Paris, 1896. Extrait in-8° de 18 pages.

2339. **Lancaster, A.** *Le climat de la Belgique en 1896.* Bruxelles, 1897. Extrait in-8° de 190 pages et 3 planches.

2340. **de Lapparent, A.** *Note sur l'histoire géologique des Vosges.* Paris, 1897. Extrait in-8° de 23 pages.

2341. **Pierret.** *Les matériaux employés dans la construction des chaussées, etc., dans le Brabant.* Bruxelles, 1897. Extrait in-8° de 19 pages.

2342. **Portis, Al.** *Contribuzioni alla storia fisica del Bacino di Roma.* Turin, 1893-1896. 2 volumes in-4° de 293 pages et 3 planches et de 513 pages et 5 planches.

2343. **Ramond, G.** *Étude géologique de l'aqueduc de l'Avre.* Paris, 1896. Extrait in-8° de 22 pages.

2344. — *Étude de géologie sur le bassin de Paris. — Note sommaire sur l'aqueduc-égout de Clichy-Achères.* Paris, 1894. Extrait in-8° de 4 pages et 1 planche.

2345. — *Géologie des Indes anglaises.* Paris, 1895. Extr. in-8° de 93 pages.

2346. **Renevier, E.** *Notice sur l'origine et l'installation du Musée géologique de Lausanne.* Lausanne, 1895. Brochure in-8° de 14 pages.

2347. — *Chronographe géologique; 12 grands tableaux en couleurs. Texte explicatif suivi d'un répertoire stratigraphique polyglotte.* Lausanne, 1897. Extrait in-8° de 173 pages et 12 tableaux.

2348. **Schoutkofski, N.** *Le volcan Berestobetzki.* Kieff, 1895. Extrait in-8° de 18 pages.

2349. **Schroeder von der Kolk.** *Beiträge zur Kartirung ler quartären Sande.* Berlin, 1896. Extrait in-8° de 35 pages et 4 planches.

2350. **Toutkofsko, P.** *Sur la question du mécanisme de la formation des volcans schisteux.* Kieff, 1893. Brochure in-8° de 43 pages.

2351. — *De la photographie géologique et de la photogrammétrie géologique.* Kieff, 1894. Brochure in-8° de 50 pages.

2352. **Verbeek, R.** et **Fennema, R.** *Description géologique de Java et Madoura.* Amsterdam, 1896. Atlas grand in-plano de 26 feuilles au 200 000e, 2 feuilles au 50.000e et 22 feuilles-annexes.

2353. **Wilczek, E.** et **Renevier, E.** *Rapports annuels des conservateurs des Musées d'histoire naturelle de Lausanne.* Extrait. Lausanne, 1896.

2354. **Wilczek, R., Renevier, E., Larguier, J.** et **Blanc, H.** *Idem.* 1895.

Digitized by Google

2° Périodiques nouveaux :

Institut géologique de Mexico.

2289. Bulletin, 1896, n° 3 ; 1897, n°s 4, 5 et 6.

Commission physiographique de l'Académie des Sciences de Cracovie.

2290. Atlas géologique de la Galicie. 12 feuilles au 75.000e, avec textes.

Présentation et élection de nouveaux membres.

Sont présentés et élus par le vote unanime de l'assemblée :

En qualité de *membre effectif :*

M. J. Didion, constructeur d'appareils de sondages, 32, rue De Joncker, à Saint-Gilles (Bruxelles).

En qualité de *membre associé regnicole :*

M. A. Navez, 194, rue de la Poste, Bruxelles.

Communications des membres :

A. Rutot. — Sur la nouvelle échelle stratigraphique des terrains quaternaires en Belgique.

M. *Rutot* annonce que, dans ces derniers temps, il a fait de nombreuses observations nouvelles relatives au Quaternaire à l'occasion de ses levés géologiques dans les Flandres.

Ce sont surtout les assises flandriennes et hesbayennes qu'il a pu étudier le plus en détail, ainsi que les cailloutis des hautes altitudes de la région.

En présence des observations faites, il ne lui semble plus possible d'attribuer à l'âge campinien la totalité du creusement des vallées ; ce creusement a dû commencer dès l'époque tertiaire et se continuer pendant l'âge moséen, mis en lumière par les récentes publications de M. Mourlon.

Le creusement final et maximum seul doit être attribué à l'âge campinien.

Quant au limon hesbayen, il apparaît depuis les altitudes les plus basses du fond des vallées jusque très près du sommet des altitudes les

Digitized by Google

plus élevées de la Flandre, formant une nappe continue, homogène, complètement indépendante des dépôts d'autres âges.

Enfin, dans la Flandre, le Flandrien présente, sous la plaine maritime, une épaisseur considérable avec gravier à la base et faune nettement marine.

En dehors de la plaine maritime, le Flandrien s'étend largement comme une nappe sableuse surmontée d'une partie grise limoneuse.

Presque partout, le Flandrien repose sur le limon hesbayen, et il monte, sur les flancs des collines, jusqu'à la cote 50 environ, dans la partie sud de la Flandre.

Vers le nord, le sommet du Flandrien descend progressivement de la cote 50 à la cote 18, ce qui est le signe certain de l'existence d'un mouvement de soulèvement du sol de la Flandre à la fin de l'époque flandrienne.

Enfin, l'équivalence du sable flandrien et de l'Ergeron, ou limon calcaire du Hainaut, s'affirme de plus en plus.

Les grandes divisions du Quaternaire de Belgique deviennent donc ainsi plus précises et mieux définies, et leur âge relatif plus certain.

Les périodes moséenne, campinienne, hesbayenne et flandrienne sont définitivement acquises et chacune est caractérisée par des phénomènes spéciaux bien distincts, ayant laissé des traces importantes, d'où découlent logiquement l'origine et le mode de formation des dépôts.

Le temps n'est pas éloigné où l'on pourra établir une échelle stratigraphique précise et détaillée du Quaternaire de notre pays.

M. *H. de Dorlodot* fait la communication suivante :

H. DE DORLODOT. — **Résultats de quelques excursions faites dans le calcaire carbonifère des environs d'Arquennes et des Écaussines, en compagnie de M. Malaise.**

A Arquennes, M. de Dorlodot a reconnu que la succession des couches inférieures au petit granit a été établie inexactement par MM. Velge et Lohest (1). Ces géologues, considérant comme se succédant régulière-

(1) MAX LOHEST et G. VELGE, *Sur le niveau géologique du calcaire des Écaussines.* (ANN. SOC. GÉOL. DE BELG., t. XXI, mém., p. 181.) — G. VELGE, *Rapport sur l'excursion faite le 22 septembre 1894 à Feluy et à Rebecq-Rognon, sous la direction de MM. Lohest et Velge.* (ANN. SOC. ROY. MALACOL. DE BELG., Mém., p. 3.)

Digitized by Google

ment de haut en bas les couches que l'on observe le long du canal de Charleroi, en marchant de l'est à l'ouest, à partir du pont du chemin de fer, ont admis l'existence, sous le petit granit, de deux niveaux de calcaire à phtanites, séparés par 6 mètres de dolomie surmontée d'une épaisseur de 10 mètres environ, qu'ils supposent occupée par du calcaire à chaux hydraulique. Or, la comparaison des coupes de la carrière du *Trou-aux-Rats*, située près du pont du chemin de fer et de la carrière à l'ouest de la vingt-neuvième écluse, ne peut guère laisser de doute sur l'identité des couches à phtanite noir que l'on observe de part et d'autre, et que M. Velge désigne respectivement sous les lettres C et E'. L'étude détaillée de l'allure des couches confirme d'ailleurs cette conclusion, en montrant que la dolomie (terme E de M. Velge) qui s'observe dans la concavité de la courbe du canal, occupe la partie la plus déclive d'une dépression : dans un profil ouest-est, les couches dolomitiques, après s'être enfoncées assez brusquement vers l'est, ne tardent pas à se relever doucement, de manière à passer par-dessus les couches à phtanites du *Trou-aux-Rats*. En ce dernier point, la dolomitisation est fort atténuée, on ne voit guère au-dessus des calcaires à phtanites que $1^m,60$ de dolomie ou calcaire dolomitique, que surmontent des bancs présentant les caractères du petit granit et visibles sur $1^m,50$ environ.

Au dire des ouvriers, ces couches, par suite d'une inflexion brusque, s'abaissaient rapidement vers le sud, dans la partie la plus rapprochée du canal, et aujourd'hui enlevée par l'exploitation : on y aurait exploité jadis du petit granit de bonne qualité.

Le calcaire à phtanite noir, épais d'environ 6 mètres, repose sur des schistes alternant avec du calcaire non siliceux à crinoïdes, aussi bien au *Trou-aux-Rats* qu'à l'ouest de la vingt-neuvième écluse. Au nord de ce dernier point et plongeant sous les couches de cet affleurement, on voit, sur la berge, des bancs de calcaire alternant avec des schistes, qui sont sur le prolongement de ceux que l'on exploite dans la carrière Rousseaux (terme G de M. Velge). MM. de Dorlodot et Malaise ont trouvé, dans un banc situé à un niveau très élevé de cette carrière, de beaux échantillons de *Spiriferina octoplicata*, ou du moins de la forme tournaisienne, que l'on a l'habitude de désigner sous ce nom. Les ouvriers leur ont affirmé, comme ils l'avaient fait à MM. Velge et Lohest, que cette carrière était jadis couronnée par des bancs phtaniteux : affirmation d'ailleurs corroborée par celle de M. Dupont, qui a observé, en 1875, des bancs phtaniteux dans une carrière voisine,

Digitized by Google

aujourd'hui abandonnée. Par contre, les ouvriers ont nié que les couches devinssent plus schisteuses quand on fore plus bas.

Il résulte de ces faits que la succession des couches, à Arquennes, se présente comme suit, de haut en bas :

A. Calcaire petit granit.

B. Calcaire à crinoïdes, plus ou moins dolomitisé, pouvant passer au précédent, à la partie supérieure.

C. Calcaire à crinoïdes sporadiques et à cherts noirs.

D. Calcaire altenant avec des schistes, sur une assez grande épaisseur.

Le terme C occupe la position stratigraphique du calcaire d'Yvoir, dont il présente d'ailleurs tous les caractères; le terme B n'est qu'un facies dolomitique de la base du petit granit (1). Quant au terme D, il représente l'ensemble de l'assise d'Hastière. Cette assise, parfaitement reconnaissable dans son ensemble, ne présente plus d'une manière distincte la succession des quatre niveaux qui la caractérisent ordinairement. Cette exception constitue la règle dans la bande nord du Hainaut (2).

Les observations faites aux environs des Écaussines confirment l'impossibilité de considérer le sommet du petit granit comme constituant régulièrement la limite du Tournaisien supérieur. On observe, en effet, dans cette région, la faune tournaisienne jusqu'à un niveau très élevé au-dessus des derniers bancs du petit granit. C'est exactement ce qui se voit à Tournai (3): mais, à Tournai, le petit granit est peu développé et mal caractérisé. On ne peut davantage prendre comme limite supérieure le *calcaire à Paléchinides*. Des Paléchinides abondants peuvent se rencontrer à différents niveaux du calcaire tournaisien supérieur au petit granit, à divers niveaux du marbre noir, dans les calcaires bleu

(1) Ce terme correspond bien à la base de la dolomie de Namur, telle qu'elle s'observe à l'ouest de Namur et de là jusqu'à Landelies. Sous ce rapport, la conclusion de M Dupont, qui a du reste reconnu le véritable ordre de superposition des couches sur la rive nord du canal, était exacte. Mais le développement de l'idée féconde, soutenue d'abord par M. Dupont lui-même, sur le synchronisme des facies dolomitiques avec des facies calcaires, a fait reconnaître que la partie inférieure de la dolomie de Namur est un facies dolomitique du petit granit. En 1875, tous les géologues admettaient encore la manière de voir de Dumont et considéraient la dolomie de Namur comme une assise bien caractérisée et constamment supérieure au calcaire à crinoïdes. Dans ces circonstances, l'hypothèse, admise par M Dupont, d'une faille faisant succéder vers le sud le petit granit à la dolomie, s'imposait.

(2) Cf. H. DE DORLODOT, *Le calcaire carbonifère de la Belgique et ses relations stratigraphiques avec celui du Hainaut français.* (ANN. SOC. GEOL. DU NORD, t. XXIII, p. 224)

(3) Cf. IDEM, *Ibid.*, p. 279.

Digitized by Google

foncé ou noirs, sur lesquels repose le calcaire de Neffe, quand ce niveau n'est pas dolomitisé, à la base de ce dernier calcaire et même à son sommet, dans les calcaires à points cristallins immédiatement sous-jacents au calcaire d'Anhée.

C. Klement. — **Les théories relatives à l'origine du pétrole.**

La communication suivante est un simple résumé des différentes hypothèses qui ont été émises sur la formation du pétrole, résumé sans prétention d'originalité, concernant une question théorique qui intéresse au même degré les géologues, les chimistes et les industriels.

Le pétrole étant formé principalement d'hydrocarbures, c'est-à-dire de combinaisons d'hydrogène et de carbone, il sera utile de nous rappeler d'abord quelques notions générales sur la chimie de ces corps, dont le nombre est presque infini. On les divise en *séries* d'après le degré de saturation des affinités du carbone par l'hydrogène. La première de ces séries est la *série saturée*, formée par les combinaisons contenant le maximum d'hydrogène qu'un nombre donné d'atomes de carbone peut fixer. Leur formule générale est C_nH_{2n+2}. Les hydrocarbures de cette série sont des combinaisons très stables et douées de peu d'affinités chimiques pour d'autres éléments, d'où le nom de *paraffines* qu'on donne surtout aux corps solides de cette série. Ses premiers représentants, le *méthane* ou *gaz de marais* (CH_4), l'*éthane* (C_2H_6), etc., sont des corps gazeux, se condensent de plus en plus facilement avec le nombre croissant des atomes de carbone dans le molécule. A partir des combinaisons de 5 atomes de carbone, *pentanes* (C_5H_{12}), *hexanes* (C_6H_{14}), etc., ils sont liquides aux conditions de température et de pression ordinaires, et leur point d'ébullition s'élève graduellement d'une manière très régulière. Enfin, les combinaisons à partir de 16 atomes de carbone dans la molécule sont solides et forment les mélanges qu'on appelle *vaseline, paraffine*, etc.

Un autre groupe de séries comprend les *hydrocarbures non saturés*, combinaisons peu stables, caractérisées par une grande facilité de se combiner avec d'autres éléments et transformables par l'addition d'hydrogène en hydrocarbures saturés. La première de ces séries est la *série de l'éthylène* (C_2H_4), dont la formule générale est C_nH_{2n}. Vient ensuite la série de l'*acétylène* (C_2H_2) avec la formule générale (C_nH_{2n-2}), etc.

La dernière série d'hydrocarbures est la *série aromatique*, dont la

Digitized by Google

formule générale est C_nH_{2n-6}, et dont le premier représentant est la *benzine*, ou, comme on l'appelle actuellement, le *benzène* (C_6H_6). Les combinaisons de cette série, quoique ne contenant pas le maximum d'hydrogène possible, se caractérisent par une grande stabilité; elles se rapprochent donc, sous ce rapport, des corps de la série saturée. On explique ce fait par une constitution toute particulière de leurs molécules, pour lesquelles on admet un enchaînement cyclique des atomes de carbone.

Voyons maintenant lesquelles de ces diverses séries se trouvent dans le pétrole. On y rencontre d'abord toujours des quantités plus ou moins considérables d'hydrocarbures saturés. Le gaz de marais accompagne souvent le pétrole, comme en Pensylvanie, à Bakou et ailleurs. Toute une série d'hydrocarbures de cette catégorie ont été extraits du pétrole, souvent même sous plusieurs formes isomériques, les corps solides étant dissous dans le mélange des combinaisons liquides.

On rencontre, en outre, dans le pétrole, une certaine quantité de corps aromatiques, mais il n'y existe pas de combinaisons non saturées. A leur place, on trouve des hydrocarbures ayant la même formule générale que la série de l'éthylène : C_nH_{2n}, mais qui sont caractérisés comme des combinaisons saturées. On ne connaît pas très bien la constitution de ces corps; on suppose que ce sont des combinaisons aromatiques perhydrogénées. On leur a donné le nom de *naphtènes*. Outre les hydrocarbures, les pétroles contiennent ordinairement encore de petites quantités de combinaisons oxygénées (acides organiques, phénols, etc.), ainsi que des traces de combinaisons sulfurées et quelquefois azotées.

Telle est, en grandes lignes, la composition du pétrole. Mais les diverses combinaisons, dont je viens de donner la nomenclature, ne s'y trouvent pas toujours dans les mêmes quantités relatives. Ainsi, par exemple, les pétroles américains contiennent en quantités prépondérantes les hydrocarbures de la série saturée, tandis que le pétrole du Caucase est formé principalement de naphtènes. Le pétrole de la Galicie semble occuper une position intermédiaire.

Le pétrole brut, tel qu'il est extrait de ses gisements, n'est pas encore propre à la consommation; il doit être soumis, au préalable, à une rectification, qui consiste en une distillation fractionnée. La portion du pétrole qui distille au-dessous de 150° forme ce qu'on appelle les *essences du pétrole* ou les *essences minérales*, et dont les fractions distillant successivement ont reçu les noms d'*éther de pétrole*, de *gazoline*, de *benzine de pétrole*, de *ligroïne*, etc. Ces substances contiennent principalement des hydrocarbures de la série saturée.

Digitized by Google

La partie du pétrole qui distille entre 150° et 300° fournit les *huiles lampantes* ou les *huiles d'éclairage,* qu'on nomme quelquefois aussi *kérosène.* Elle est formée principalement de naphtènes. La partie qui distille au-dessus de 300° fournit les *huiles lourdes*, les *huiles lubréfiantes*, la *vaseline* et la *paraffine.*

Le pétrole ou, d'une manière plus générale, les substances bitumineuses, dont le pétrole est l'espèce liquide, se rencontrent dans presque tous les terrains géologiques, du Cambrien jusqu'au Tertiaire. Quelques auteurs, comme *Sickenberger*, par exemple, admettent même qu'il se forme encore actuellement sur les bords de la mer Rouge.

Les gisements du Canada et de la Pensylvanie appartiennent aux terrains paléozoïques (Devonien et Silurien), tandis que les pétroles du Caucase, de la Galicie, de la Roumanie, de l'Italie, etc., se trouvent dans le Tertiaire. On rencontre le pétrole tout aussi bien dans les couches non disloquées que dans les terrains redressés et plissés. Dans ce dernier cas, des sources abondantes ont été souvent observées le long des crêtes des plis anticlinaux. La condition principale pour la formation de gisements riches est la présence d'un réservoir poreux, formé de sable, grès, etc., et situé au-dessous d'un toit imperméable, car le pétrole, plus léger que l'eau, possède une certaine tendance ascensionnelle.

La forte pression qu'on observe souvent et qui fait monter le pétrole dans les puits de forage, peut s'expliquer, en général, par une pression artésienne. Une relation directe avec l'action volcanique n'a été observée que bien rarement. Le pétrole est presque toujours accompagné d'eaux salines.

Après ces renseignements préliminaires, passons à l'objet principal de ma communication : l'explication du mode de formation du pétrole. On est bien loin d'être d'accord à ce sujet, et les théories les plus diverses ont été émises.

On peut diviser ces théories en trois groupes. Le premier groupe de ces théories suppose que le pétrole s'est formé, et se forme probablement encore, sans l'intervention de la vie organique, par une simple synthèse minérale. On peut appeler ces théories les *théories chimiques* ou, puisqu'elles doivent avoir recours à l'intervention d'une haute température, qui ne peut être fournie que par le volcanisme, les *théories volcaniques.*

Commençons l'énumération de ces théories par celle de M. *Sokoloff*, qui, se basant sur la présence d'hydrocarbures dans les météorites, suppose que le pétrole est le produit d'une combinaison directe

Digitized by Google

d'hydrogène et de carbone pendant la première phase de la formation de notre système solaire. Les hydrocarbures ainsi formés auraient été absorbés par la masse encore liquide de la terre pour s'en séparer lors de sa solidification.

Une autre partie des théories chimiques sont de simples applications des diverses méthodes de synthèse organique, rapportées à la formation du pétrole. Des synthèses d'hydrocarbures, applicables dans notre cas, ont été surtout exécutées par des chimistes français — citons les noms de *Berthelot*, *Sainte-Claire-Deville*, *Friedel* et *Crafts*, etc. — C'est surtout en France que ces théories ont trouvé leurs partisans.

Dans cet ordre d'idées, il faut citer, avant tout, la théorie de *Berthelot*, basée sur le procédé qu'il a nommé la *synthèse pyrogénée* des hydrocarbures. On sait que ce savant, en partant de l'acétylène et en le transformant d'abord en benzine, a obtenu, par une série d'opérations synthétiques et analytiques, un grand nombre d'hydrocarbures, tant aromatiques qu'autres, dont l'acétylène est ainsi le générateur universel. Pour appliquer ce mode de formation au pétrole, il ne reste plus qu'à expliquer comment l'acétylène peut prendre naissance dans l'intérieur de la terre. A cet effet, Berthelot admet la présence de métaux alcalins dans le noyau igné de la terre. Par l'action de l'acide carbonique sur ces métaux, il se formerait d'abord des acétylures alcalins qui, décomposés par les vapeurs d'eau, donneraient naissance à l'acétylène. Celui-ci, soumis au traitement de la synthèse pyrogénée, formerait toute la série d'hydrocarbures qui composent le pétrole.

Bien d'autres procédés de synthèse organique ont été mis en avant pour expliquer la formation du pétrole, notamment ceux qui se basent sur l'action de métaux chauffés à une haute température sur des mélanges de gaz hydrogénés et carbonifères, tels que la synthèse du gaz de marais par l'action du cuivre incandescent sur un mélange d'hydrogène sulfuré et de sulfure de carbone, ou la synthèse de l'acétylène par l'action du fer chauffé au rouge sur un mélange d'hydrogène sulfuré avec le sulfure et l'oxyde de carbone, etc. Ainsi, par exemple, *Byasson* dit avoir obtenu, en faisant agir l'acide carbonique et l'eau dans des conditions fort simples, une petite quantité d'un liquide inflammable, presque inattaquable par l'acide sulfurique, d'une odeur ayant quelque analogie avec celle des carbures du pétrole.

Mais ces diverses théories n'ont jamais été très répandues. Il en est autrement d'une hypothèse émise en 1877 par *Mendeléeff*. Ce savant suppose, comme c'est admis généralement, que le centre de la terre est formé par un noyau métallique composé principalement de fer en

Digitized by Google

fusion. Ce fer renfermerait, comme nos fontes ordinaires, une certaine quantité de carbone à l'état de carbure de fer. L'eau, en s'infiltrant dans les fentes et fissures de la croûte terrestre, arriverait jusqu'au noyau métallique, où elle formerait, par double décomposition avec le carbure de fer, de l'oxyde de fer et des hydrocarbures, et donnerait naissance ainsi au pétrole.

Des expériences en ce sens ont été faites en 1877 et 1878 par M. *Cloëz*, qui a obtenu des hydrocarbures gazeux et liquides par l'action des acides sur la fonte blanche miroitante manganésifère, ainsi que par l'action de l'eau sur un alliage carburé de fer et de manganèse.

Enfin, plus récemment. M. *Moissan* a étudié la nature des hydrocarbures qui se forment par l'action de l'eau, à la température ordinaire, sur les divers carbures métalliques. Un certain nombre de ces carbures donnent, dans ces conditions, de l'acétylène, comme le carbure de calcium par exemple (c'est ce procédé qui est employé en grand pour la fabrication de l'acétylène); d'autres carbures, comme le carbure d'aluminium, donnent du gaz de marais; le carbure de manganèse donne un mélange de gaz de marais et d'hydrogène. Mais le corps le plus intéressant sous ce rapport est l'uranium. Le carbure d'uranium donne, en effet, sous l'action de l'eau, outre l'hydrogène et des hydrocarbures gazeux (méthane, éthane, etc.), toute une série d'hydrocarbures liquides appartenant principalement aux séries non saturées de l'éthylène et de l'acétylène. M. *Moissan* pense qu'à une haute température, il se forme probablement aussi des combinaisons de la série saturée. Il admet la présence de ces divers carbures métalliques dans le noyau igné de la terre, et il arrive à la conclusion, que les réactions que je viens d'indiquer pourraient jouer un grand rôle pour la formation du pétrole, du moins dans certains cas.

A titre de simple curiosité, il faut citer enfin l'hypothèse de M. *Ross*, qui ne repose même pas sur une expérience de laboratoire, mais qui est une simple spéculation théorique. D'après lui, le pétrole se formerait par l'action de l'hydrogène sulfuré et de l'acide sulfureux sur le calcaire, à une haute température; cette réaction donnerait naissance à du gypse, à du soufre et à des hydrocarbures.

Toutes les théories exposées jusqu'ici ont ceci de commun, qu'elles supposent le pétrole formé à une grande profondeur, d'où il s'élèverait, par une sorte de distillation, pour se condenser dans les couches où on le rencontre. Les principales objections qu'on a faites à ces théories sont les suivantes :

D'abord, il serait déjà bien difficile d'admettre que l'eau puisse

Digitized by Google

arriver, comme le veulent les théories de *Berthelot*, de *Mendeléeff*, de *Moissan*, etc., jusqu'au noyau métallique de la terre. Mais ce qui est surtout inexplicable, c'est le fait qu'un mélange de corps à points d'ébullition si différents — tel que le pétrole — n'éprouverait pas, dans ces conditions, l'effet d'une distillation fractionnée, mais resterait réuni et se condenserait en un seul et même endroit.

Une seconde catégorie d'hypothèses admettent pour le pétrole une origine végétale. Elles se basent sur le fait que le mélange d'hydrocarbures qui forme le pétrole montre une analogie remarquable avec les produits de la distillation sèche de la houille et, surtout, du lignite. On a donc admis, à cause de cette analogie, que le pétrole ne serait pas autre chose que le produit d'une distillation de restes végétaux, tels que nous les voyons déposés sous les diverses formes de charbon, sous l'influence de la chaleur interne du globe. Cette théorie a été admise surtout par les géologues d'Amérique, où le pétrole fut désigné, pendant longtemps, sous le nom de *coal oil* (huile de charbon). Ce nom a été remplacé plus tard, quand on a commencé à douter de l'exactitude de la théorie végétale, par celui de *coral oil* (huile de coraux). Citons parmi les partisans de cette théorie les noms de *Lesquereux*, *Binney*, *Wall*, *Hochstätter*, *Krämer*, *Lesley*, etc. *Griffiths* a allégué, en sa faveur, la présence, dans certains pétroles, de petites quantités de phénol, qu'il a également observé, en traces, dans les tiges, les feuilles et les fleurs de *Pinus sylvestris*, espèce végétale appartenant à la famille des Conifères, lesquels ont pris part, dans une certaine mesure, à la formation des dépôts houillers.

On peut faire à cette théorie végétale la même objection qu'aux théories volcaniques, c'est-à-dire l'improbabilité d'une distillation d'un mélange de corps à points d'ébullition si différents, sans fractionnement. Mais dans ce cas, le lieu de formation étant plus près du lieu de dépôt, cette objection a un peu moins d'importance. Mais on devrait observer, si cette théorie était vraie, une connexion constante entre les gisements de houille et ceux de pétrole; ce qui n'est pas toujours le cas. En outre, le charbon soumis à la distillation sèche laisse un résidu, le coke, dont on ne trouve pas de traces dans les formations pétrolifères. On peut dire plutôt que les roches renfermant des restes végétaux ne sont pas, en général, bitumineuses, mais qu'elles le deviennent dès que des restes d'organismes animaux s'y associent.

Cela nous mène à la troisième catégorie d'hypothèses qui admettent, pour le pétrole, une origine animale. D'après ces théories, le pétrole se serait formé par la transformation de restes animaux — Sauriens,

Digitized by Google

Mollusques, Coraux, et surtout de Poissons — en hydrocarbures; et cette transformation aurait eu lieu aux endroits mêmes de leur dépôt, c'est-à-dire que ces théories admettent, pour le pétrole, à l'encontre des précédentes, un gisement primitif (1).

Ce fait, qui est souvent mieux en harmonie avec l'ensemble des données stratigraphiques que toute autre théorie, ainsi que la présence constante de restes organiques de nature animale dans les gîtes bitumineux, sont les deux raisons principales qui parlent en faveur de la théorie animale. Cette théorie a été surtout établie par des géologues et des chimistes allemands et autrichiens, et on la désigne généralement sous le nom de la théorie de *Höfer et Engler*, quoique d'autres savants, tels que MM. *Ochsenius*, *Zaloziecki*, etc., aient pris une large part à son développement.

Déjà *L. von Buch*, *Credner*, *Fraas*, *St. Hunt* et d'autres avaient indiqué pour certains gisements bitumineux une origine animale; mais celui qui a le premier, et d'une manière générale, appliqué cette idée pour l'explication de la formation du pétrole, c'est M. *Höfer*. Dans son livre intitulé : *Das Erdöl und seine Verwandten*, paru en 1888 et qui résume l'ensemble de ses vues exprimées déjà plus tôt, il fait l'examen critique des différentes hypothèses sur l'origine du pétrole, et il s'attache à prouver, par des raisons géologiques dont j'ai déjà indiqué les principales, que le pétrole ne peut avoir d'autre origine qu'une origine animale.

De quelle manière la transformation des restes animaux en hydrocarbures se serait opérée, M. *Höfer* ne l'indique pas; mais il soutient que cette transformation doit avoir eu lieu sous une forte pression et, à l'encontre de toutes les autres théories admises jusqu'alors, à une température relativement basse. D'autres auteurs ont essayé d'expliquer le mode de cette transformation.

Ainsi M. *Zaloziecki*, par exemple, constate d'abord que presque tous les gisements pétrolifères semblent être des formations marines côtières. A un endroit favorable de la côte, des cadavres d'animaux se seraient amassés. L'eau salée de la mer, dont les propriétés antiseptiques sont connues, aurait empêché la décomposition des matières grasses qui se seraient accumulées, tandis que les matières albuminoïdes auraient été

(1) Certains auteurs, comme M. *O. Lang*, par exemple, admettent cependant que les matières bitumineuses dérivant de la décomposition de restes animaux aient été soumises à une distillation sous l'influence de la chaleur interne de la terre; le pétrole aurait donc subi un déplacement vers les couches supérieures.

Digitized by Google

détruites par la putréfaction, que l'eau de mer, tout en la retardant, n'aurait pas pu empêcher complètement. Les matières grasses enfouies ensuite sous les dépôts postérieurs se seraient transformées enfin en pétrole, sous la pression toujours grandissante des couches superposées.

M. *Ochsenius* précise encore davantage les conditions dans lesquelles, d'après lui, le pétrole se serait formé. Il constate d'abord que les terrains pétrolifères montrent souvent des relations constantes avec des dépôts de sel. Ainsi, par exemple, tout le long des Carpathes on trouve une zone centrale salifère, à laquelle appartiennent, par exemple, les célèbres salines de Wilieczka et de Bochnia en Galicie, bordée vers l'extérieur par une zone pétrolifère. M. Ochsenius suppose qu'il existe entre ces deux formations une relation causale. Les dépôts de sel se seraient formés, comme on l'admet généralement, par l'évaporation de l'eau de la mer dans des bassins fermés; cette eau, en se concentrant, dépose d'abord une partie de son sulfate de chaux sous forme de gypse, ensuite le sel gemme et enfin une autre partie du sulfate de chaux à l'état d'anhydrite. La succession de ces trois couches est très régulière et constante. Les sels restant en solution dans l'eau mère qui résulte de cette évaporation, c'est-à-dire les sels de potassium et de magnésium, ainsi que de petites quantités de bromures, d'iodures, de borates, etc., ne sont généralement plus déposés par évaporation, et ce n'est que tout à fait exceptionnellement qu'on les trouve au-dessus des couches de sel, comme à Stassfurt par exemple, où ils ont donné naissance à l'importante industrie bien connue des sels potassiques. D'après M. *Ochsenius*, c'est précisément cette eau mère, restant après le dépôt du gypse, du sel et de l'anhydrite, et disparue dans la plupart des cas, qui est le générateur du pétrole. Après le dépôt des couches salifères, ces eaux mères auraient été rejetées vers l'Océan; elles y auraient occasionné la mort de grandes masses d'animaux et, en amenant avec elles des matières argileuses en suspension, elles auraient enfoui, en même temps, leurs cadavres sous une couche imperméable. Mais là n'est pas encore fini, d'après notre auteur, le rôle de ces eaux mères. La putréfaction des substances albuminoïdes de ces animaux a donné lieu, sans doute, à la formation de produits de décomposition gazeux, tels que l'acide carbonique et l'ammoniaque, qui auraient pu rompre la couche protectrice d'argile et exposer ainsi les matières organiques à la destruction complète par l'action oxydante de l'air, si l'influence des eaux mères ne s'était pas fait sentir. M. *Ochsenius* admet, en effet, que, par une réaction tout à fait analogue à celle qui sert pour la fabrication du sel de soude d'après le procédé *Solvay*, le chlorure de sodium contenu dans les

Digitized by Google

eaux mères a transformé l'acide carbonique et l'ammoniaque en carbonate de soude et en chlorure d'ammonium, c'est-à-dire en sels solubles dans l'eau et sans danger pour l'équilibre des couches formées. Les corps albuminoïdes étant éliminés de cette manière, il ne reste plus que les corps gras, qui se seraient transformés plus tard en hydrocarbures, toujours sous l'action des eaux mères et sous la haute pression des couches déposées au-dessus.

Les théories sur l'origine animale du pétrole ont trouvé un grand appui par des expériences de laboratoire qui ont été faites par M. *Engler* et par M. *Heusler*. M. *Engler* a soumis, en 1888, à la distillation, de grandes quantités de matières grasses animales, notamment de l'huile de poisson, sous des pressions variant entre 10 et 20 atmosphères, et à des températures de 300 à 400°. Il a obtenu ainsi, sans formation de résidu notable, d'abord des produits gazeux, contenant principalement du gaz de marais, mais surtout de 60 jusqu'à 75 °/₀ d'une huile brunâtre, montrant en couche mince une fluorescence verte très prononcée, d'un poids spécifique de 0.8 environ, et formée principalement d'hydrocarbures saturés. M. Engler a isolé notamment les hydrocarbures de cette série avec 5 jusqu'à 9 atomes de carbone. Mais cette huile contenait, en outre, jusqu'à un tiers de son poids, des hydrocarbures non saturés. Par distillation fractionnée de ce produit, il a obtenu entre 140 et 300° un liquide incolore, transparent et brûlant dans les lampes comme le pétrole ordinaire. Ce pétrole artificiel est donc, sous tous les rapports, semblable au pétrole naturel, sauf qu'il renferme des hydrocarbures non saturés qu'on ne trouve pas, comme nous avons dit, dans le pétrole naturel.

Plus tard, en 1896, M. *Heusler* a soumis le produit de distillation de M. *Engler* à l'action du chlorure d'aluminium, et il a réussi à le transformer ainsi complètement en hydrocarbures saturés. De cette manière, le problème de la transformation des matières grasses, sans résidu notable, en hydrocarbures, tels qu'on les rencontre dans la nature sous la forme de diverses substances bitumineuses, se trouve résolu et rien ne s'oppose plus, au point de vue théorique, à ce qu'on admette pour ces substances une origine analogue. Il reste à voir si, dans chaque cas donné, l'ensemble des observations géologiques se conciliera avec cette théorie.

Je dois encore mentionner un groupe de théories qu'on peut appeler les *théories mixtes* et qui admettent, pour le pétrole, une origine végétale et animale en même temps. Ainsi, par exemple. M. *Hitchcock* (1867) suppose que le pétrole s'est formé principalement de restes végétaux,

Digitized by Google

mais en partie aussi de restes animaux, surtout de poissons. M. *Jaccard* (en 1890) admet pour le bitume liquide (le pétrole) une origine végétale, et pour le bitume solide (l'asphalte, etc.) une origine animale.

Enfin, à titre de simple renseignement, je dois citer la théorie de M. *Bertels*, qui suppose (en 1892) que le pétrole se forme de matières animales, tant grasses qu'albuminoïdes, sous l'influence de ferments spécifiques organisés, de bactéries; il enrichit ainsi la série des fermentations d'une nouvelle espèce : la fermentation pétrolique. Les matières grasses fourniraient, d'après M. *Bertels*, les hydrocarbures gazeux et les huiles légères, et les substances protéiques formeraient les huiles lourdes, ainsi que les combinaisons sulfurées et azotées. Bien que cette manière de voir n'ait, en elle-même, rien d'absurde, on devra demander, avant de la prendre en considération, que l'existence d'organismes capables d'opérer cette transformation soit constatée préalablement.

Telles sont les diverses théories qui ont été émises sur l'origine du pétrole. Aucune d'elles n'a encore pu se faire valoir exclusivement; toutes trouvent encore leurs partisans et leurs adversaires. Il se peut que l'une et l'autre soient vraies dans des cas différents; mais, d'une manière générale, on peut dire que l'hypothèse de l'origine animale semble gagner du terrain, tant parmi les géologues que parmi les chimistes.

Depuis la lecture de cet exposé, M. R. Zuber, professeur à l'Université de Lemberg, a publié, en 1898, dans la *Zeitschrift für praktische Geologie*, un article intéressant sur ce même sujet. Après avoir rappelé brièvement les principales observations géologiques qui ont été faites aux divers gîtes pétrolifères, l'auteur insiste sur le fait, que les expériences de M. *Engler* ne prouvent pas l'origine *animale* du pétrole, mais seulement son origine *organique*. Des corps gras, qui ont servi à ces expériences, se trouvent aussi, en effet, en quantités considérables dans le règne végétal. Il rappelle une théorie de M. *Radziszewski*, qui date déjà de 1877 et d'après laquelle le pétrole serait le produit d'une fermentation putride de substances végétales, notamment de la cellulose; il se formerait de cette manière principalement de l'acide carbonique et du gaz de marais, les autres hydrocarbures qui constituent le pétrole en seraient les produits secondaires. Cette théorie est basée sur des expériences faites par *L. Popow*, qui ont démontré que par la fermentation putride de substances végétales il se forme du gaz de marais et de l'acide carbonique; ces expériences ont été vérifiées plus tard par *Hoppe-Seyler*.

Digitized by Google

SÉANCE SPÉCIALE D'HYDROLOGIE
DU 11 MAI 1897.

Présidence de M. **A. Rutot.**

La séance est ouverte à 8 h. 40.

Présentation et élection de nouveaux membres :

Sont présentés et élus par le vote unanime de l'assemblée :

En qualité de membres effectifs :

MM. le Dr Ant. Fritsch, professeur à l'Université de Prague, 66, Wenzelplatz, à Prague.

Léolold Heuseux, ingénieur, directeur-gérant des Charbonnages de Courcelles-Nord, à Courcelles.

Henri Liekens, ingénieur, 85, rue Gallait, Schaerbeek-Bruxelles.

Léon Somzée, ingénieur, membre de la Chambre des Représentants, 22, rue des Palais, à Schaerbeek-Bruxelles.

En qualité de membre associé regnicole :

M. O. Boulengier, docteur en médecine, 104, rue de la Croix-de-Fer, à Bruxelles.

Digitized by Google

Communications des membres :

A. Flamache. — Quelques mots à propos de la critique de M. Van den Broeck concernant mon travail sur la formation des cavernes.

Sous ce titre, M. *Flamache* donne lecture d'une Note répondant aux critiques soulevées par M. Van den Broeck. D'après l'auteur de cette Note, la majorité des spécialistes qui se sont occupés de la question partageraient ses vues, et ses contradicteurs seraient même d'accord avec lui pour reconnaître l'inefficacité de l'eau acidule, filtrant goutte à goutte, dans la formation des cavités. Il n'aurait donc pas prolongé le débat s'il n'avait trouvé dans la réponse de M. Van den Broeck, qui, d'après lui, n'a apporté aucun élément nouveau au débat, des affirmations qui, dit-il, ont notablement altéré les faits et les opinions.

Il pense que c'est à tort que M. Van den Broeck dénie à M. Dupont le mérite qu'a cru pouvoir lui attribuer M. Flamache d'avoir innové la théorie de l'action chimique des eaux acidules, et pour appuyer cette assertion, il signale qu'en regard de l'isolement de ce facteur, seul considéré par M. Dupont, la plupart des auteurs font une part au moins égale à l'action mécanique dans le phénomène d'érosion et de creusement des cavernes. Il cite des passages des travaux de M. Dupont montrant que seul le facteur chimique ou de dissolution est invoqué par cet auteur qui, dit-il, revendique d'ailleurs nettement la découverte de cette action chimique en disant : « Tel est, d'après mes études, le fonctionnement de l'eau de pluie agissant comme eau acidule dans le remarquable appareil chimique disposé au cœur de nos roches calcareuses ».

M. Flamache signale qu'en regard de ces vues personnelles du savant directeur du Musée de Bruxelles, presque tous les auteurs, y compris M. *Martel*, le plus compétent de tous en cette matière, accordent une grande importance à l'action des eaux courantes et à l'ablation qui peut en résulter. M. Flamache est donc bien près, quoi qu'en dise M. Van den Broeck, de l'opinion générale quand il dit : *L'action chimique de l'eau acidule* FILTRANT LENTEMENT *à travers des fissures encombrées de tampons argilo-sableux et de blocaux est incapable de produire des cavités dans les profondeurs des roches calcaires, cette action étant détruite par la dissolution du calcaire rencontré dans les deux ou trois premiers mètres de parcours.*

M. Flamache considère que ce fait capital, qu'il pense avoir été le premier à mettre hors de doute, ne pourrait être contesté par M. Van

Digitized by Google

den Broeck, qui paraît devoir surtout recourir, pour maintenir ses vues sur la persistance d'action des eaux météoriques dans les profondeurs, aux phénomènes d'engouffrement dans les aiguigeois et autres fissures béantes. M. Flamache se défend d'ailleurs d'avoir contesté cette dernière action, puisqu'il a dit implicitement (dans la note au bas de la page 358 des Procès-verbaux du tome VII) que l'action superficielle de l'EAU COURANTE sur la surface intérieure des canaux qu'elle parcourt peut s'exercer à toute profondeur.

L'action dissolvante de l'eau acidule FILTRANTE peut s'exercer à de grandes profondeurs si le terrain filtrant n'est pas calcaire, mais aussitôt entrée dans le terrain calcareux, elle perd au bout de deux à trois mètres toute faculté dissolvante.

M. Flamache ne nie pas que des eaux puissent — à part la filtration lente — s'engouffrer en masses plus ou moins considérables, mais il dit que pour s'engouffrer il faut un gouffre préexistant, et il reste à expliquer la formation de celui-ci; la question n'est donc que déplacée.

M. Van den Broeck, dit-il, affirme bien à tort que M. Flamache dénie l'efficacité des eaux acidules dans beaucoup de phénomènes géologiques, et l'orateur se réfère à son travail de la séance du 16 avril 1895 dont trois pages sur douze sont consacrées à l'exposé de la rapidité de cette action dissolvante.

Admettant comme justifiée la théorie de M. Dupont sur la dolomitisation des calcaires magnésiens par l'ablation chimique de l'excès de carbonate de chaux, il fait remarquer que le peu d'épaisseur de la partie partiellement dolomitique fournit un argument à sa thèse. La présence d'une grande épaisseur de dolomie inattaquable *hypothétiquement* par l'eau acidule n'empêche nullement l'action chimique de celle-ci dans les profondeurs.

Les critiques de M. Van den Broeck retombent non sur l'exposé de M. Flamache, mais sur une théorie qui, celui-ci ne le méconnaît nullement, n'est pas admise par tout le monde, et l'auteur signale à ce propos les travaux classiques de Guembel, Lorentz et Vogt sur les dolomies du Tyrol et sur celles de la Norvège, travaux que son honorable contradicteur ne paraît pas avoir étudiés de très près.

Dans son exposé sur la présence des phosphates au sommet de la craie, M. Van den Broeck aurait pu tenir compte de ce fait signalé par M. Flamache et qu'il paraît avoir perdu de vue, que l'eau acidule garde sa faculté dissolvante en traversant une épaisseur quelconque de terrains non calcaires. Quant au reproche que lui a fait M. Van den Broeck d'employer autrement que les géologues le mot *limé*, il s'en défend en

Digitized by Google

signalant qu'il a employé l'expression de *grands limés* pour désigner, par une expression familière aux ingénieurs, les concrétions calcaires blanches qui se déposent dans les fissures, et il ajoute que certains caractères de ces *grands limés*, tels que la présence de sables au milieu du concrétionnement, lui permettent de les considérer comme ayant été parcourus par des eaux supérieures. Quant aux *fins limés* visés par M. Van den Broeck, le processus de leur remplissage est différent et n'a rien à voir avec l'argumentation de M. Flamache.

D'après ce dernier, l'argumentation de M. Van den Broeck consisterait à prêter à son adversaire des idées que celui-ci n'a nullement exposées et ensuite à les réfuter avec une facilité toute naturelle en l'occurrence. En somme, M. Flamache croit avoir établi nettement les points suivants :

Il croit avoir mis en évidence que l'action dissolvante de l'eau acidule *filtrante* (et il laisse de côté les eaux d'engouffrement dans les calcaires) est incapable de créer des cavités dans les profondeurs d'une roche calcaire. Remarquant ensuite que toute caverne est ou a été le lit d'un cours d'eau permanent ou temporaire; remarquant que la forme des cavernes montre à l'évidence qu'elles constituent une déviation soit dans une boucle prononcée de la rivière, comme à Han, soit entre le plateau et celle-ci, comme dans les aiguigeois; observant enfin que le tracé des grottes renferme des dédoublements, des communications latérales indiquant pour tout hydraulicien l'existence d'une circulation nette de l'amont vers l'aval, M. Flamache conclut ainsi :

« Les cavernes doivent leur existence au cours d'eau qui les parcourt » ou qui les a parcourues. Par suite, les cavernes sont des vallées sou- » terraines dont le creusement a lieu par *les mêmes causes* et suivant *les* » *mêmes lois* que celui des vallées à l'air libre. »

Cette conclusion, ajoute l'auteur, ne préjuge *en rien* le mode d'action de l'eau *courante*, quelle qu'elle soit : mécanique, chimique, etc.

Dans la théorie défendue par M. Dupont, la caverne est préexistante à l'entrée des cours d'eau; suivant les idées de M. Flamache, le cours d'eau a creusé la caverne *peu à peu* comme il l'eût fait de toute vallée d'érosion. Tel est le point précis dont eût dû s'occuper M. Van den Broeck dans sa réponse du 26 novembre 1895, d'autant plus que M. Flamache fournissait un critérium facile en disant :

« Toute caverne doit posséder une conduite d'amenée et une con- » duite de départ (1). Si une exploitation de carrière amenait au jour

(1) Ce dernier peut être plus ou moins obstrué; ce qui forme les cavernes à lac intérieur.

Digitized by Google

» une caverne absolument close, n'admettant l'eau que par des fissures,
» la fausseté de ma conclusion serait démontrée. »

Or, dans le nombre considérable de cavernes étudiées, aucun cas de ce genre bien constaté n'a été relevé.

En terminant sa lecture, M. Flamache exprime ses regrets de devoir constater dans la réponse du 26 novembre 1896, faite par M. Van den Broeck à sa Note du 16 avril de la même année, certains passages dont la forme lui paraît manquer de la courtoisie que réclament les polémiques scientifiques, et il croit pouvoir s'en autoriser pour relever à son tour avec une certaine vivacité le ton de la réponse fournie par son honorable contradicteur.

Réponse à M. Flamache par E. VAN DEN BROECK.

Comme suite à cette communication, M. *Van den Broeck* commence par protester de ses intentions envers son collègue et ami M. Flamache, ainsi qu'il le nommait d'ailleurs dès la troisième ligne de son exposé du 26 novembre. Si, au cours de ce travail, assez passionnant et écrit très rapidement, il a pu, dans l'intérêt des vues qu'il croit toujours être la vérité scientifique, accuser assez vivement M. Flamache d'être dans l'erreur, c'est la résultante inévitable de la mise en présence et du choc vigoureux de thèses opposées; mais jamais il ne lui est venu à l'esprit d'être désagréable en quoi que ce soit à M. Flamache. Si, dans sa pensée à lui, sa réponse ne devait en rien froisser M. Flamache, il reconnaît cependant qu'elle a pu, dans sa forme un peu vive, faire croire à son honorable contradicteur qu'il eût été préférable d'atténuer la vivacité de l'expression.

Ceci dit, M. Van den Broeck signale la difficulté qu'il y a à répondre séance tenante aux multiples points, très intéressants d'ailleurs, soulevés dans la Note dont M. Flamache vient de donner lecture. Il ne pourra donc, pour le Procès-verbal de la séance, où figurera sans doute un résumé de l'exposé de M. Flamache, que signaler très rapidement ce qu'il compte développer ultérieurement, s'il y a lieu, en réponse aux observations de son honorable contradicteur.

Il y aurait d'ailleurs beaucoup à dire au sujet de cet exposé, et M. Van den Broeck pense que la prolongation du débat n'offrirait qu'un intérêt modéré pour les spécialistes : géologues et hydrologues, et surtout pour ceux qui ont eu l'occasion de s'occuper des choses de la spéléologie.

Digitized by Google

Libre à M. Flamache de n'envisager comme thèse générale du processus circulatoire dans les calcaires qu'un minime élément du problème; le rôle des eaux d'infiltration descendant lentement et en petite quantité au travers du lacis superficiel des menues fissures de l'affleurement des massifs calcaires, et libre à lui d'édifier, sur des faits réels mais localisés, une thèse que ne partagent certes pas de nombreux spécialistes quand ils étudient ou exposent l'*ensemble* du système circulatoire des eaux météoriques et courantes au sein des massifs rocheux calcaires et les effets de celles-ci dans le creusement des grottes. Libre à lui aussi d'attribuer à M. Dupont, parce que cet auteur a cru pouvoir se cantonner exclusivement dans l'étude de certains phénomènes chimiques pour expliquer la formation des grottes, la paternité de la découverte d'un processus dont M. Van den Broeck, bien avant M. Dupont, a mis en lumière toute la portée et l'importance (1), mais dont aussi, bien d'autres avant M. Van den Broeck, avaient déjà fait connaître les multiples effets, surtout en matière de géologie chimique. Tout cela est d'ailleurs du domaine public, et il est aisé, pour ceux que le débat continuerait à intéresser, d'aller aux

(1) E. Van den Broeck, *Mémoire sur les phénomènes d'altération des dépôts superficiels par l'influence des eaux météoriques, étudiés dans leurs rapports avec la géologie stratigraphique.* (Mém. cour. et mém. des sav. étrang de l'Acad. royale des sciences de Belgique, t. XLIV, 1880, 180 pp in-4°, 1 pl. et 34 fig. — Voir aussi : E. Van den Broeck, *Du rôle de l'infiltration des eaux météoriques dans l'altération des dépôts superficiels.* (Compte rendu sten. du Congr. intern. de géol. de Paris. août-septembre. 1878.)

Si M. Flamache n'avait pas sans doute perdu de vue une importante note du travail de M. Éd. Dupont consacré aux *Phénomènes généraux des cavernes en terrain calcareux* et la *circulation souterraine des eaux dans la région Hav-Rochefort* (Bull. Soc belge de géol., t. VII. 1893), il n'aurait pas persisté à attribuer à M. Dupont le mérite de l'*invention* de la thèse de l'action chimique des eaux acidules filtrantes dans la formation des cavernes. Dans cette note, en effet, M. Dupont (*loc. cit.*, pp. 204-206) résumait très explicitement, et avec une parfaite loyauté, que l'origine de son évolution en ce qui concerne ses idées sur l'argile rouge des cavernes, résidu du processus chimique connexe à cette action filtrante, et sur le mode de creusement des cavernes réside dans l'exposé que M. Van den Broeck a fait de ses vues sur la question du rôle des infiltrations d'eaux météoriques.

M. Dupont fait, dans cette note, l'historique très impartial de la question et reconnaît avoir persisté dans ses anciennes vues jusqu'en 1880, date de la publication du Mémoire de M. Van den Broeck. En terminant sa note, M. Dupont dit textuellement : Les découvertes de M. Van den Broeck *sur le rôle géologique des eaux atmosphériques m'amenèrent à rejeter l'intervention des sources minerales acidules* dans le creusement de nos cavernes *et le dépôt des argiles subordonnées et à donner aux eaux de pluie cette action que je définis en 1885 dans l'explication de la feuille de Dinant. Ce fut également alors que j'appliquai la même donnée à l'interprétation du phénomène de la dolomitisation de nos calcaires.*

Digitized by Google

sources, que la bibliographie spéléologique montre être d'une multiplicité qui ne serait que trop favorable aux nombreuses citations dont M. Van den Broeck pourrait appuyer les développements d'une nouvelle argumentation contradictoire. Mais, pour le moment, il se contente de dire qu'il ne peut absolument pas partager les vues de M. Flamache lorsque celui-ci se borne à ne considérer que l'action chimique de l'eau acidule filtrant lentement à travers des fissures encombrées de tampons argilo-sableux et de blocaux, et à dire qu'elle est *incapable* de produire des cavités dans les profondeurs des roches calcaires. Il serait intéressant de savoir si M. Flamache pourrait, sur ce point capital, trouver à recruter des adhérents à ses vues parmi les spécialistes ou observateurs consciencieux ayant pu apprécier la multiplicité et la diversité du processus de descente et d'action des eaux superficielles au sein des calcaires.

M. Van den Broeck n'admet pas non plus — et il est certain, en cela aussi, d'être en compagnie de la grande majorité des spécialistes — que le creusement des cavernes aurait eu lieu par les mêmes causes et par les mêmes lois que celles régissant le creusement des vallées à l'air libre; mais il y a certainement, à côté de causes et de lois spéciales à chacun de ces deux ordres de faits, des causes et des lois qui leur sont communes.

Il y aurait long à dire sur la question de la *dolomitisation* et sur celle des *limés des calcaires*, grands ou petits, qui n'ont rien à voir, en thèse générale, avec la circulation des eaux actuelles, mais qui sont, les uns comme les autres, le résultat d'exsudats chimiques corrélatifs de phénomènes anciens de tectonique ayant plissé, fracturé et ressoudé les roches dans la profondeur et mis en circulation leur eau de carrière et des solutions anciennes n'ayant rien de commun avec les circulations d'eaux météoriques modernes. Tout cela exigerait un exposé qu'il faudrait pouvoir développer à loisir.

Pour ce qui est de considérer la majorité des cavernes et des cavités de quelque importance comme représentant ou ayant représenté le lit souterrain d'une eau courante, soit descendant de haut en bas, soit coulant obliquement ou suivant des pentes présentant les caractères torrentiels ou fluviaux de nos eaux courantes externes, M. Van den Broeck l'admet tout autant que M. Flamache, et, avec lui et bien d'autres, il se sépare complètement de M. Dupont qui persiste étonnamment à vouloir considérer les cavernes comme préexistantes aux vallées et cours d'eau. Mais cela n'a rien à voir avec le rôle des agents chimiques dans l'érosion du calcaire, et si d'une part M. Dupont n'admet qu'eux

Digitized by Google

seuls dans le processus de formation des grottes et cavernes, et si d'autre part M. Flamache n'admet que les facteurs mécaniques, M. Van den Broeck croit être, avec l'immense majorité des spécialistes, plus près de la vérité en admettant que dans les profondeurs, aussi bien qu'à la surface, les deux facteurs interviennent rarement séparément, *très généralement ensemble,* mais dans des proportions absolument *variables* suivant de *nombreux facteurs locaux* et *régionaux,* suivant surtout la nature et la disposition des roches, facteurs donnant lieu à une telle multiplicité de cas qu'il paraît difficile d'établir à ce sujet des lois d'application générale.

Pour terminer, M. Van den Broeck fait remarquer qu'il n'a pas été le seul à réfuter les vues de M. Flamache, puisque, sans s'être concertés le moins du monde, deux de nos collègues, M. l'ingénieur Otto Lang, en Allemagne, et M. le professeur A. Stainier, de Gembloux, ont l'un et l'autre mis en évidence, d'une manière aussi claire que convaincante, à la séance de janvier dernier, les motifs et les faits positifs qui leur font partager sur le travail et la thèse de M. Flamache les mêmes idées que celles défendues, avec d'autres arguments, par M. Van den Broeck.

M. *Th. Verstraeten* fait la communication suivante :

HYDROLOGIE DES ROCHES

NÉCESSITÉ DE PRÉCISER LES SITUATIONS ET LES TERMES

PAR

T. VERSTRAETEN

ancien Directeur du Service des eaux de la ville de Bruxelles.

Le sujet. — Depuis de longues années, l'*Hydrologie de nos calcaires de l'Entre-Meuse-et-Ourthe* est à l'ordre du jour de la Société de géologie de Bruxelles.

Des études nombreuses à ce sujet ont été produites par MM. Dupont, Putzeys, Rutot, Van den Broeck, d'une part; par MM. Blanchart, Flamache, François, Rome, Willems et Verstraeten, d'autre part.

Je me suis efforcé d'établir, à diverses reprises, que ces copieuses dissertations n'avaient abouti qu'à l'expression d'opinions les plus manifestement contradictoires.

Digitized by Google

Mes considérations ayant soulevé des critiques; et, dans ces derniers temps de nouvelles objections et de nouveaux systèmes ayant été présentés, à mon sens pas plus clairs que les précédents : je me propose de les rencontrer pour mieux établir la nécessité de *préciser les situations et les termes hydrologiques.*

Sol et sous-sol. — Je commencerai par l'analyse de l'examen critique que M. Van den Broeck, en compagnie de son ami M. Rutot, a bien voulu me consacrer.

Envisageant *l'état de division des terrains,* notre Secrétaire s'est arrêté tout d'abord à la *couche délitée,* insistant sur ce point, que ce qu'il faut entendre par là, c'est la tranche supérieure rocheuse subissant l'action météorologique.

J'avais dit textuellement : « Nous sommes d'accord pour constater » l'extrême division du sol; nous le sommes encore pour dire que » l'action météorologique délite les affleurements rocheux ».

On ne pourrait donc concevoir d'harmonie plus parfaite, si nous en restions là. Mais notre collègue n'a pas contredit M. Dupont, qui déclare que le délitement pénètre jusqu'à 10 mètres et plus dans les schistes, et qu'il s'arrête à 1 mètre environ dans nos calcaires résistants du Hoyoux, du Bocq et de Han-Rochefort.

Là-dessus, j'avais, moi, exprimé nettement l'avis qu'il y avait exagération.

Nul doute que le délitement soit très inégal partout, et que, çà et là, il puisse s'enfoncer exceptionnellement. Mais, je le demande à nos confrères qui passent leur vie dans les excavations grandes et petites, naturelles et autres : est-ce que l'observation des parois rocheuses leur a donné cette impression que le délitement dans les schistes serait, *d'une manière générale,* dix fois plus profond que dans nos calcaires? Je ne le crois pas. Encore ne s'agit-il ici que de l'impression pour les yeux; et « l'important en hydrologie, — avais-je dit, — est de savoir » jusqu'où va, non pas le délitement quelconque, mais celui qui » demeure effectif pour la traversée des eaux ».

Or, la propriété des schistes de se laisser amollir par les eaux joue en l'occurrence un rôle notable. Dans les terrains de cette nature, le délitement *effectif* est extrêmement variable, d'une saison à une autre et suivant une même verticale : plus ou moins profond en période de sécheresse, il se réduit par les temps longuement humides, et va même jusqu'à son annulation complète par la transformation de la roche

Digitized by Google

schisteuse en une argile compacte; ce que tous nous avons pu constater pour des régions entières.

Je précise donc et complète de la manière suivante mes avis sur le *délitement :*

C'est un état de subdivision par l'action météorologique; il relève en partie de la division préexistante géologique; il est donc très variable, dans un même terrain, entre des points rapprochés.

Pour les roches très résistantes à l'eau, comme les grès et les calcaires qui nous occupent, il est d'une grande constance au point de vue hydrologique.

Pour les roches très peu résistantes à l'eau, comme les schistes, il est au contraire fort inconstant.

Et quant à la puissance *moyenne* du fractionnement ainsi entendu, je ne la crois pas prépondérante chez les schistes, tout en dénonçant encore sa fâcheuse variabilité.

Au sujet des *joints de stratification et des diaclases*, M. Van den Broeck nous confirme que ces plans de division règnent du haut en bas des massifs et qu'ils sont très multipliés.

Il avait imprimé jadis : « essentiellement, infiniment fissurés ».

Il ajoute que lorsque M. Dupont avance qu'ils sont *soudés* dans les calcaires, il ne faut pas prendre ce mot dans le sens rigoureux.

Et comment donc le faudrait-il prendre? Le sens rigoureux n'est-il pas le seul qui convienne à la science? et par le terme *soudé*, M. Dupont a-t-il pu entendre : soudé au tiers, à la moitié, aux trois-quarts?

Cette argumentation de mon honorable critique me prouve qu'au fond nous devrions être d'accord pour conclure que le sous-sol calcaire des régions du Houyoux, du Bocq et de Han-Rochefort est fortement divisé; qu'il comprend de vastes réseaux de solutions de continuité plus ou moins accessibles à l'eau; et que, *s'entrecoupant,* elles sont *communiquantes.*

Je n'avais pas prétendu autre chose, et M. Stainier se trouve en fait du même avis, puisqu'il va jusqu'à reconnaître la *perméabilité* à tous les calcaires quelconques, affirmation trop absolue, je crois.

Viennent les *épanouissements* le long des joints et diaclases; *les cavités, les grottes, les cavernes.* M. Dupont ne leur donne d'autre origine que l'*action chimique* de l'eau; je n'ai pu m'empêcher d'y reconnaître aussi l'*action mécanique.*

Nos secrétaires admettent l'existence de ces creusements dans les *calcaires;* les refusent aux *grès* comme aux *quartzo-schisteux* et les

Digitized by Google

retrouvent dans les *craies;* d'autres les reconnaissent au-dessus du fond des vallées, mais pas en dessous.

Pourquoi les cavités ne se formeraient-elles pas dans les grès?

Est-ce que ces roches ne sont pas stratifiées et diaclasées comme les calcaires? Ne sont-elles pas *perméables,* comme le déclare M. le professeur de Gembloux, et dès lors fissurées en tous sens?

Est-ce que l'eau n'y pénètre pas? Est-ce qu'elle n'y circule pas? Est-ce qu'elle n'en sort pas, parfois même sous forme de belles et volumineuses sources très élaborées, témoignant par là et par sa température d'un long et lent cheminement souterrain?

M. Dupont dit que l'action *chimique* de l'eau y est *nulle.* C'est là évidemment une erreur de notre consciencieux collègue. L'action est très faible, mais non pas nulle.

Les sources émergeant du grès titrent 3°, 4°, 5° hydrotimétriques et recèlent souvent une dizaine de milligrammes au litre de matière siliceuse. C'est peu de chose; mais, les milliers de siècles aidant, cela peut faire des trous dans la pierre. D'ailleurs, je cite M. Dupont lui-même : « *On signale,* dit-il, *des cavités dans les grès* ». Et si les grès présentent des cavités, pourquoi les quartzo-schisteux n'en offriraient-ils point?

Toujours, dans les roches où l'eau circule, il y a tendance à formation de cavités. La cavité persiste quand le massif est résistant à l'eau ; elle s'écroule quand la résistance fait défaut; elle se comble quand les résidus argileux ou autres ne sont pas entraînés.

M. Van den Broeck a vu de grosses sources s'échappant de la *craie,* et il en infère l'existence de cavernes dans le voisinage. La déduction est-elle logique? Sans doute peut-il se créer des cavités importantes et persistantes dans la craie, mais c'est à la condition qu'elle soit résistante et dure. Or, tel n'est pas chez nous le caractère habituel de cette roche. Presque toujours elle est tendre : elle cède avec facilité aux moindres efforts d'écrasement, et pas un ingénieur ne risquerait la construction d'une « caverne » avec les matériaux qu'elle fournit.

Distinguons. Je ne prétends pas qu'il y a inexistence de cavernes dans les craies quelles qu'elles soient; mais je repousse la déduction tirée.

Deux grandes zones crayeuses et très aquifères se développent en Belgique : l'une à l'est, l'autre à l'ouest.

La première a été largement étudiée et fouillée au *plateau du Geer,* pour les « Eaux de Liége » : M. le directeur de ce service m'affirme qu'on n'y a jamais découvert de cavernes ni de cavités proprement

Digitized by Google

dites; que la roche est subdivisée par une infinité de fissures minces; que les galeries qui la sillonnent ont dû être soutenues, en un très grand nombre de points, par des revêtements maçonnés.

La seconde zone a été transpercée en de multiples endroits par nos charbonnages du bassin de Mons, et des constatations du même genre y ont été faites.

Il sort aussi de grosses sources du *terrain bruxellien*, formé de bancs minces de pierres silico-calcaires, alternant avec des couches sableuses. Cependant, il ne vient à l'idée de personne d'en induire que des *cavernes sont proches*, et tout le monde sait que ces belles venues d'eau sont dues à un concours heureux de *conduits* naturels, étroits, ramifiés et développés dans une couche aquifère puissante.

En ce qui concerne le *niveau des grottes*, il est clair que ces excavations doivent se former, et surtout s'entretenir et s'amplifier, bien mieux au-dessus qu'en dessous des fonds de vallées, puisque c'est là que se rencontrent les conditions les plus favorables : solutions de continuité plus libres, des sections plus larges et une circulation des eaux plus rapide, capable de fournir des chasses plus énergiques. Mais, de là à soutenir qu'il n'existe pas de cavités sous le niveau des vallées, il y a loin; et, de même ici, j'oppose à la négation, produite à ce propos, l'affirmation de M. Dupont, quand il signale *des creux profonds sous le radier des grottes de Han*. Et cet exemple peut ou doit se répéter souvent; car si, d'une manière générale, les eaux, alimentant les sources, se meuvent au-dessus des thalwegs, elles doivent se mouvoir aussi dans le sens de la pente du support imperméable, *en dessous des thalwegs*, et agir ainsi tant par corrosion que par érosion.

D'ailleurs, ne perdons pas de vue que les eaux souterraines acquièrent des températures d'autant plus élevées qu'elles occupent des parties de terrains plus profondes; qu'atteignant dans nos contrées 10° centigrades à 20 mètres de profondeur, elles montent de 1° par 25 mètres supplémentaires environ ; qu'au fond d'une cuve de 300 mètres — comme M. Dupont en représente fréquemment — elles atteignent donc 20°, et que de ces circonstances opposées naissent des circulations d'eau de bas en haut et de haut en bas, capables, encore une fois, dans la suite éternelle des temps, d'actions chimiques et mécaniques.

Eaux souterraines. — Passons aux *couches et nappes aquifères locales et générales*.

Depuis longtemps, MM. Rutot et Van den Broeck avaient reconnu

Digitized by Google

que les eaux souterraines de ruissellement et de filtration ne peuvent descendre indéfiniment; qu'il fallait bien qu'elles s'arrêtassent quelque part, et qu'ainsi elles réalisaient des emmagasinements qui — disaient-ils — étaient peut-être *locaux* au sein des massifs.

Personne n'a jamais nié qu'il pût se former dans les massifs rocheux des *emmagasinements aquifères locaux;* mais j'ai rappelé que cela n'est point particulier aux roches; que ces phénomènes se présentent aussi dans les massifs terreux : par des lentilles d'argile, les concrétions, les agglomérats, les lits de pierres, les bancs compacts, etc.

Gardons-nous de nous laisser égarer par le détail isolé, et mettons-nous bien dans l'esprit que nos hypothèses sur le jeu des eaux dans le sein de la terre doivent être en relation parfaite avec les résultats, avec le régime des sources émergées.

Une règle sur laquelle il conviendrait enfin de se mettre d'accord, c'est qu'aux sources volumineuses et constantes, il faut des réservoirs souterrains volumineux et constants, et il est manifeste que c'est la situation aux bassins du Houyoux et du Bocq.

MM. Van den Broeck et Rutot estiment que la régularité de ces sources peut s'expliquer par je ne sais quels *siphonnements* et par l'*empiétement d'un bassin hydrographique sur un autre.*

Je ne conteste pas que les *siphonnements* ne puissent exister, mais on ne m'en signale aucun. Pour les régions rocheuses en question, les seules dont je m'occupe — réservant mes appréciations pour les autres — ce sont là des suppositions gratuites, absolument inutiles pour expliquer et comprendre les résultats acquis.

Et, pour les *empiétements*, personne ne les contredit davantage; tout le monde, au contraire, observe qu'ils se produisent partout; mais je crois avoir démontré que, dans les régions visées, ces actions doivent se contre-balancer; que, dans tous les cas, elles n'ont pas la portée extraordinaire que leur attribuait M. Van den Broeck, induit en erreur par les affirmations d'une Commission dite technique.

A propos des *couches aquifères dans les schistes*, MM. les Secrétaires ont cru pouvoir avancer que j'avais exagéré la pensée que M. Dupont développe dans sa brochure sur la circulation des eaux en régions rocheuses. J'accepte d'autant moins ce reproche que j'avais lu, relu et annoté cette étude avec grand soin.

Les énonciations de M. Dupont, auxquelles mes honorables critiques font allusion, sont celles surtout relatées au chapitre : *Contrastes entre les sources en terrains calcaires et en terrains schisteux*, page 62, dont je reproduis les passages suivants :

Digitized by Google

« L'eau superficielle pénètre entre ces joints (des schistes) et sait » y descendre à plus de 10 mètres. La roche devient ensuite compacte » et ne laisse plus entrer l'eau; celle-ci séjourne dans cette partie » délitée. Si l'on y creuse un puits à profondeur suffisante, *il donne* » *généralement de l'eau en permanence. Lorsque son débit doit être* » *augmenté*, on se borne souvent à l'approfondir en creusant au fond » un trou de mine de 1 ou de 2 mètres.

» *Le phénomène des eaux est essentiellement différent dans les schistes* » *et dans les calcaires.* Les eaux qui alimentent les schistes sont des » *eaux d'infiltration;* celles qui donnent les sources dans les calcaires » sont des rivières.

» *Il y a dans les schistes une sorte de couche aquifère avec son niveau* » *d'eau;* on peut y établir des galeries drainantes, soit pour créer des » sources artificielles, soit pour augmenter des sources jaillissantes; » *on peut y créer des puits à production permanente.*

» *Aucune de ces circonstances ne se rencontre dans la roche adjacente* » *si elle est calcaire : il n'y a pas, dans les calcaires, de nappe aquifère,* » *mais des canaux soutirant les eaux de rivière : ce serait peine perdue* » *d'y établir des galeries drainantes et des puits.* »

Par cette citation, nous voyons donc nettement que, pour M. Dupont, il existe dans les schistes, et jusqu'à plus de 10 mètres de profondeur, une accumulation d'eau où les puits trouvent une alimentation abondante et permanente.

J'ai exprimé que, dans les terrains de cette nature, la couche aquifère commence d'ordinaire près du sol et descend à peu de profondeur, *comme moyenne générale.*

Donc, en ce qui concerne la constitution de la couche aquifère dans les schistes et sauf les proportions, nous serions très près de l'accord, n'étaient nos déductions pratiques, essentiellement différentes.

De ce que cette couche aquifère se présente dans ces conditions spéciales, j'en conclus qu'elle manque de volume, d'abondance, surtout de permanence.

Sa nappe subissant de fréquentes et amples oscillations, c'est une indication supplémentaire défavorable.

L'obligation d'approfondir souvent les puits, moins pour *augmenter leurs débits* que pour prévenir la « précarité » de leurs eaux, est une autre indication dans le même sens.

Et les rendements, très variables, dans les terrains dont il s'agit, infimes à l'hectare-jour, en sont la preuve définitive.

Digitized by Google

Que l'on puisse, en certains cas exceptionnels, rencontrer, au milieu de grandes régions schisteuses, des puits convenablement alimentés, cela n'a pas d'importance hydrologique; mais qu'on infère de quelques constatations isolées des propriétés générales, c'est ce qu'il faut repousser de la façon la plus catégorique.

M. Dupont rapporte donc que, dans ces terrains, « *il y a une sorte de couche aquifère avec son niveau d'eau* ».

On peut être plus précis et prétendre carrément qu'il y a une *couche aquifère réelle* avec sa *nappe véritable*, mais le tout à l'état précaire.

L'honorable géologue conseille d'y creuser des puits et des galeries pour en tirer des *sources permanentes*.

Répétons qu'on ne trouve des sources permanentes que dans les réservoirs permanents; prémunissons les entreprises contre l'insuccès qui les attend dans les recherches d'*eaux constantes* en pareilles occasions; respectons les enseignements pratiques de nos paysans avisés qui, d'instinct, suppléent à l'insuffisante capacité aquifère des zones schisteuses, par des approfondissements de puits et au besoin par des percements de galeries au fond de ces puits, combinant ainsi le drainage du *délitement* avec la *citerne* creusée dans la partie imperméable de la roche; et, pour répondre à MM. Rutot et Van den Broeck soutenant que les conseils à ce propos de M. Dupont s'adressaient, non pas aux ingénieurs, mais aux paysans, objectons qu'il ne faut pas plus fourvoyer les paysans que les ingénieurs.

Est-il vrai que *les phénomènes des eaux sont essentiellement différents dans les schistes et dans les calcaires du Bocq et du Hoyoux?*

M'est avis que c'est là une pure illusion.

Dans ces deux natures de terrains, les eaux descendent, s'accumulent et sortent, en vertu de la même gravité qui régit à ciel ouvert les ruisseaux et les fleuves. Le contraste est dans les *proportions*. Alors qu'au sein des schistes la couche aquifère est très accessible, mais sans puissance ni constance; dans les calcaires que nous envisageons, elle est profonde, peu accessible, mais très puissante et très régulière, ce que je cherche à figurer par les figures 1 et 2 ci-dessous.

Dire qu'*il n'y a ni couche aquifère ni nappe d'eau* dans les calcaires du Hoyoux et du Bocq, c'est nier l'existence des sources volumineuses et permanentes dûment constatées, analysées et jaugées.

Et dire que *c'est peine perdue d'y creuser des puits et des galeries*, c'est risquer une inconséquence, puisque d'autre part, on affirme que ce sont des canaux qui drainent les rivières, lesquelles produisent les

Digitized by Google

sources permanentes, et qu'il est clair que des *drains artificiels*, méthodiquement dirigés, ne seraient pas moins productifs que des *drains naturels* se traçant au hasard des événements géologiques.

Terrain schisteux.

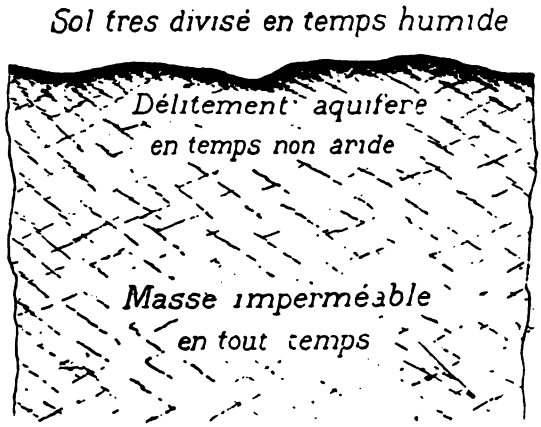


FIG. 1.

Terrain calcaire.

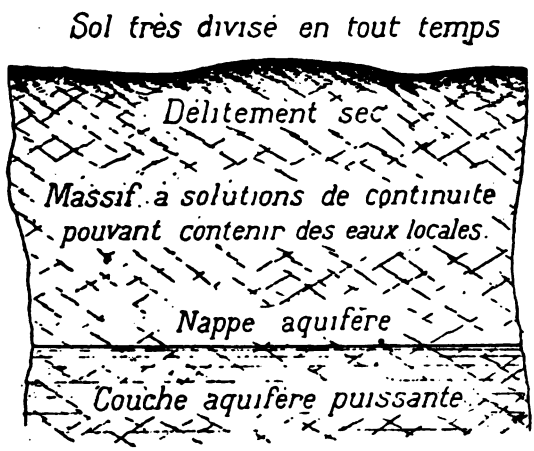


FIG. 2.

Si nous creusons un puits dans le schiste (fig. 1), nous aurons de l'eau à fleur du sol dans les saisons longuement pluvieuses; il faudra descendre davantage dans les temps secs, et souvent nous ne trouverons plus d'eau du tout au milieu des périodes exceptionnellement arides.

Digitized by Google

Si, au contraire, nous fonçons un puits dans des roches calcaires comme celles du Hoyoux et du Bocq, nous toucherons encore la nappe aquifère près du sol au fond des vallées (fig. 2), à moins de circonstance exceptionnelle; mais aux plateaux qui se redressent brusquement au-dessus des thalwegs, il faudra descendre à 30, à 50, à 60 mètres et plus (voir fig. 3). Depuis le sol jusqu'à la nappe générale, on traversera d'abord une couche délitée sèche; puis la roche moins fractionnée, mais également sèche et sillonnée par les joints de stratification, les diaclases, les cassures d'effondrement qui se continuent vers le bas. Peut-être rencontrera-t-on au passage *une eau localisée* généralement très variable et de peu d'importance relative; mais le puits étant descendu

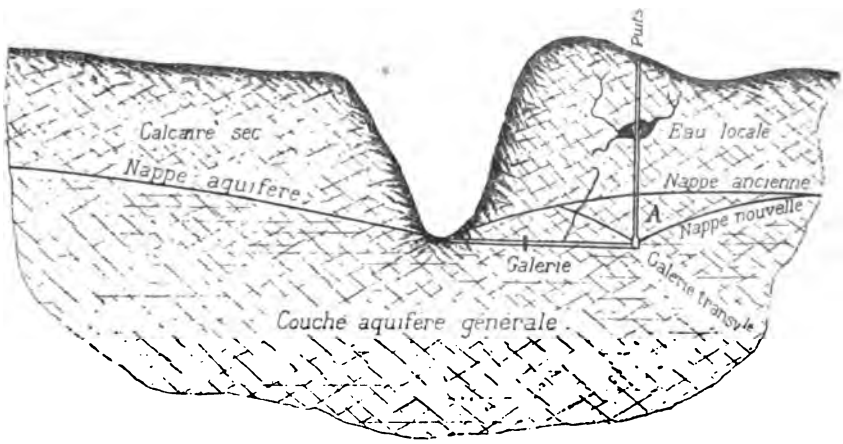


FIG. 3. — SYSTÈME HYDROLOGIQUE DES CALCAIRES DU HOYOUX ET DU BOCQ.

A. Entonnoir asséché par le puits. — Sillon asséché par la galerie transversale.

dans la couche aquifère générale, y trouvera de l'eau en abondance, d'autant plus grande et mieux élaborée que la pénétration y sera plus considérable.

Encore une fois, tout cela a été longuement expliqué et se trouve en accord parfait :

Avec le régime dûment observé des sources du Hoyoux et du Bocq;

Avec les coupes relevées sur place par MM. Walin et François;

Avec les observations et faits d'expérience rapportés par MM. Blanchart, Smeysters et autres ingénieurs des mines;

Avec l'opinion déjà citée de M. le professeur Stainier et ses représentations graphiques de couches aquifères dans les grès et les calcaires, etc.

Digitized by Google

On voit bien ce qui induit en erreur mes honorables contradicteurs, c'est, d'une part, l'accessibilité *immédiate* de la couche aquifère dans les schistes, et, d'autre part, l'inaccessibilité *apparente* de cette même couche dans les calcaires en question.

L'honorable directeur du Musée de Bruxelles a raison de parler comme il le fait, à propos des puits et galeries à percer dans les calcaires, *tant qu'il les considère au-dessus de la nappe générale*. Alors sans doute c'est peine perdue de les construire; alors aussi il pourra se faire qu'un puits creusé dans ces conditions trouve de l'eau à la rencontre d'un canal; mais cette eau, toujours précaire aux périodes arides, sera plus ou moins inconstante par tous les temps, selon qu'elle sortira d'une couche aquifère *locale* moins ou plus volumineuse.

Il est évident qu'une eau pareille, insuffisamment élaborée, ne devrait pas être admise en vue d'usages domestiques. Il est possible même que si l'on se bornait à faire pénétrer le fond de ce puits de quelques décimètres seulement dans la couche aquifère, on s'exposerait à recueillir, par les temps pluvieux surtout, des afflux impropres; mais ce serait là un ouvrage mal fait, où il n'aurait pas été tenu compte des circonstances au milieu desquelles on se trouve. Dans des cas de l'espèce, et quand il s'agit de distributions publiques, c'est, comme je l'ai maintes fois dit et écrit, à la plus grande profondeur possible, en pleine couche aquifère, qu'il importe d'effectuer le puisage.

A ce propos, je crois utile de faire remarquer que l'*élaboration des eaux* se produit le mieux, non pas dans leur descente plus ou moins verticale depuis le sol jusqu'à la couche aquifère, mais dans leur cheminement oblique depuis ce point jusqu'à l'émergence des sources; car, tandis que le premier trajet n'a que 25 mètres de hauteur moyenne environ et que le parcours en peut être rapide, le second, au contraire, s'effectue avec lenteur et sur une étendue 100 fois, 200 fois, 300 fois plus considérable.

Observons encore que ce qui assure l'existence d'une *couche aquifère générale*, dans tout terrain quelconque, c'est la relation entre elles de ses solutions de continuité, le tout au-dessus d'une base imperméable, et que, du moment où les épuisements dans les puits, les fosses, les carrières s'influencent réciproquement, en y faisant baisser le niveau des eaux qu'ils contiennent, on tient la preuve de cette relation, et par là de la présence même de la dite couche aquifère. Or, ces constatations ont été faites dans les calcaires que nous étudions.

Bassin du Geer. — Puisque nos Secrétaires admettent des cavités

Digitized by Google

dans *la craie* d'où s'échappent de grosses sources, c'est que, dans une certaine mesure, ils assimilent ces roches à nos *calcaires*. C'est donc l'occasion de rappeler l'exemple du *bassin du Geer*, qui fit l'objet, vers 1851, d'une des plus belles études hydrologiques qui soient, d'ailleurs dirigée par notre illustre géologue *André Dumont*.

Il commença par dresser la coupe très simple de la contrée (fig. 4) et reconnut :

Au sol, le limon plus ou moins sableux ;

En dessous, une couche épaisse de craie, très fissurée ;

Et comme support général la *roche anthraxifère* : grès, schistes, quartzo-schisteux au nord, calcaire au sud, dont le plan supérieur, incliné au nord-ouest, est empâté d'une bonne couche étanchante d'*argile grasse*.

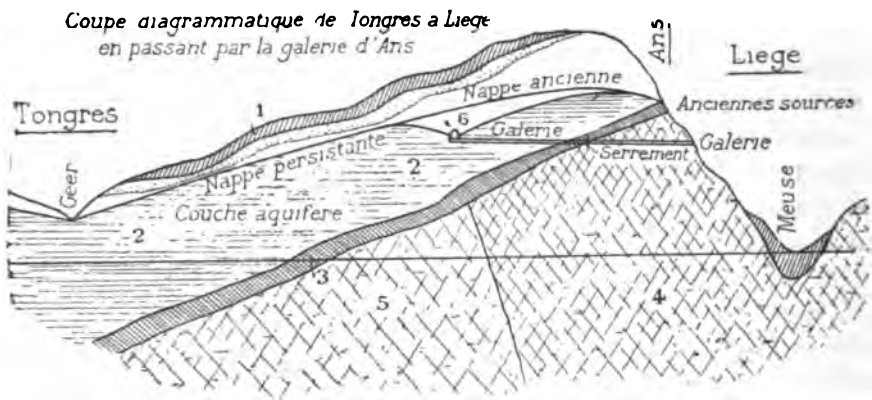


FIG. 4. — SYSTÈME HYDROLOGIQUE DE LA CRAIE DU GEER.

1. Limon et sables ; ensemble perméable.
2. Gravier très perméable, puis craie très fissurée ; couche aquifère générale dans la craie.
3. Argile imperméable.
4. Terrain houiller ; grès, schistes, quartzo-schisteux ; ensemble plus ou moins fissuré? Couches aquifères ?
5. Calcaire carbonifère, très fissuré ; couche aquifère ?
6. Sillon asséché par la galerie transversale.

De ces prémisses nettement posées devait résulter le *système hydrologique souterrain et supérieur*.

Dumont montra la pluie tombant sur le plateau du Geer, traversant en partie son manteau limoneux, puis le Crétacé, et venant enfin s'arrêter sur la base d'argile imperméable pour constituer une couche aquifère puissante, penchée comme elle vers le Geer.

Restait à déterminer l'*allure de la nappe aquifère*.

Digitized by Google

Dumont utilisa pour cela les puits de la contrée, fit quelques sondages supplémentaires, et constata, par nivellement, l'existence de sa surface courbe, convexe et descendant vers la rivière, drain naturel de ces *eaux souterraines* ainsi fixées de position.

Il conclut enfin, en indiquant le moyen d'en dériver une portion plus ou moins importante, et qui consistait à partir du versant de la Meuse, dans le voisinage d'Ans, à traverser en galerie le terrain houiller et l'argile, pour pénétrer dans le sein de la couche aquifère.

C'est dans ces conditions que le système hydrologique du Geer fut transmis à l'ingénieur Gustave Dumont, neveu du grand géologue et qui, en 1856, le compléta brillamment, dressa le projet des eaux alimentaires de Liége et l'exécuta avec pleine réussite.

Voilà donc qui est catégorique et limpide.

Tant pour l'ingénieur que pour le géologue, le système ne fait pas l'ombre d'un doute et se trouve précisé par plans, coupes et descriptions :

La *couche aquifère* est entendue comme elle l'est dans les terrains détritiques;

Il n'est question que de *couche aquifère générale et ordinaire;*

Il n'est question nulle part de *couches aquifères locales,* ce qui ne veut pas dire qu'elles n'existaient point, mais ce qui explique qu'elles passaient inaperçues comme presque partout dans les régions terreuses;

Et la couche aquifère générale est supérieurement limitée par une *nappe générale,* très régulière, si régulière que dans les coupes elle est figurée sous la forme d'une surface parabolique.

Depuis lors, en 1887, cette *question des eaux de Liége* fut reprise par MM. Rutot et Van den Broeck, qui firent l'historique des études produites à ce propos, mais sans signaler le nom de leur illustre initiateur.

Voyons cependant si, après un intervalle de trente-six ans de progrès énormes en toutes choses, des clartés nouvelles ont été projetées sur le sujet.

1° *Quant à la géologie,* MM. les Secrétaires disent :

Du *terrain houiller :* qu'il est constitué par des alternances de schistes, de grès, de psammites, dépôt *franchement perméable;*

Du *calcaire carbonifère :* qu'il est *perméable,* grâce à ses fentes, joints de stratification et cavités diverses, qui permettraient un écoulement *irrégulier* et *localisé* des eaux superficielles, *si elles pouvaient atteindre en ces régions la surface du terrain primaire;*

De la *craie :* qu'elle est *très fissurée* et surmontée d'amas de *silex* évidemment très perméables, mais au-dessus du *sommet* de la nappe aquifère.

Digitized by Google

2° *Quant au système hydrologique,* ils ajoutent :

Que pour la moyenne et la basse Belgique, les couches de terrain inclinant au nord-nord-ouest, les *nappes aquifères* qu'elles emprisonnent suivent une orientation similaire;

Que sous le plateau du Geer, la *nappe, maintenue* au sein de la craie fissurée, *s'écoule* vers le nord;

Que le *minimum de résistance de l'écoulement* se trouve vers la *surface de cette nappe;*

Qu'outre le *niveau aquifère accentué à la surface de la craie,* baignée par l'*épaisse nappe* arrêtée par l'argile hervienne, il est un *autre niveau* où la venue d'eau est également fort abondante : c'est la zone sableuse qui forme la base de la craie; et ce *niveau* — d'après nos Secrétaires — fournit, à l'ouest et au nord-ouest des plateaux qui dominent Liége, la *nappe artésienne* d'un certain nombre de puits favorablement situés.

Vérifions ces assertions telles quelles. Le *terrain houiller* serait donc *franchement perméable.* Il est certain que c'est inexact pour une de ses parties constitutives : le *schiste;* et que son intercalation dans un dépôt compromet la perméabilité de l'ensemble.

Le *calcaire carbonifère,* lui aussi, est *perméable,* grâce à ses fentes, etc.; mais s'il est *fissuré* au point d'être considéré comme *perméable,* pourquoi ne permettrait-il que des écoulements *irréguliers* et *localisés* de ses eaux ?

La *craie* est *très fissurée,* c'est entendu! Et je constate qu'ici il n'est point question des *cavités* précédemment admises pour cette roche.

Quant aux *cailloutis* qui la surmontent, et qui sont des *passoires* grossières, notons que le *sommet de la nappe* est une ligne de crête, à peu près parallèle au Geer; qu'il est donc interdit de dire que les amas de silex s'étalent au-dessus du *sommet* de la nappe; et ajoutons que leur rôle hydrologique dans le système en question, c'est de drainer le *limon sus-jacent* et d'augmenter sa perméabilité.

Pour le *système hydrologique,* il n'est pas exact que toutes les *nappes* prennent l'orientation nord-nord-ouest des couches qui les emprisonnent.

Pour nous, encore une fois, les *nappes* sont des surfaces, et toujours elles inclinent plus ou moins normalement vers leurs vallées drainantes.

L'assertion n'est pas plus légitime pour les *couches aquifères, considérées dans leurs bassins respectifs,* couches qui reposent sur des bases plus ou moins largement ondulées et qui, dans ces limites, étroites

Digitized by Google

pour un pays tout entier, mais très considérables pour les étendues à envisager par l'ingénieur, prennent toutes les directions les plus opposées.

Nous ne pouvons pas davantage admettre — quant au plateau du Geer — que la *nappe maintenue au sein de la craie fissurée s'écoule* vers le nord.

Une *nappe*, qui est une *surface*, rendue par des levés, n'a point la propriété de *s'écouler*, mais elle subit des *mouvements oscillatoires*.

Il serait tout aussi illogique de parler de la sorte à propos de la *couche aquifère*, qui est un *volume*, une *masse* perméable remplie d'eau communiquante.

Le *minimum de résistance à l'écoulement* se trouve vers la *surface de cette nappe?* — On veut dire sans doute : à *proximité de la nappe?* — Mais je ne vois pas la valeur de l'observation, la prise d'eau devant s'effectuer le plus en contre-bas possible de la même nappe.

Le niveau aquifère accentué à la surface de la craie? — Mais à la surface de la craie gisent les cailloux, et mes critiques ont reconnu que c'est plus bas que règnent les eaux.

La craie baignée par l'épaisse nappe? — Mais une nappe, étant une surface, n'a point d'épaisseur et n'a pas plus la propriété de *baigner* que de *couler*.

Zone sableuse à la base de la craie où existe un niveau qui est une nappe artésienne? — Mettons qu'on a voulu dire des *eaux artésiennes*. Mais il n'y a pas d'eaux artésiennes du tout! Nos Secrétaires se font illusion. Ils auront écouté sans contrôle les paysans de l'endroit qui, voyant au fond de leurs forages jaillir brusquement les eaux, les auront qualifiées du nom d'*artésiennes*. Ces eaux de la base crayeuse font partie de la même *couche aquifère générale et ordinaire* si rigoureusement définie par les deux Dumont.

Ces circonstances se reproduisent partout : dans les massifs terreux et mi-terreux, comme dans les terrains rocheux de toutes natures. Nulle part les terrains ne sont homogènes dans le sens mathématique du mot; et il suffit d'un amas de gravier au sein d'une couche aquifère sableuse pour provoquer des effets analogues.

En effet, reportons-nous au cas de la figure 5. A côté d'un puits D, engageons dans le sous-sol le puits P. Tant que, sous la nappe, l'ouvrage restera dans le sable, la venue d'eau y sera peu sensible; mais arrivée au gravier, elle affluera vivement et jaillira de même jusqu'au niveau de la nappe générale. L'eau ne sera pas plus artésienne en P

Digitized by Google

qu'en D (1). C'est que l'amas graveleux est, dans l'occurrence, un drai-neur de grande surface.

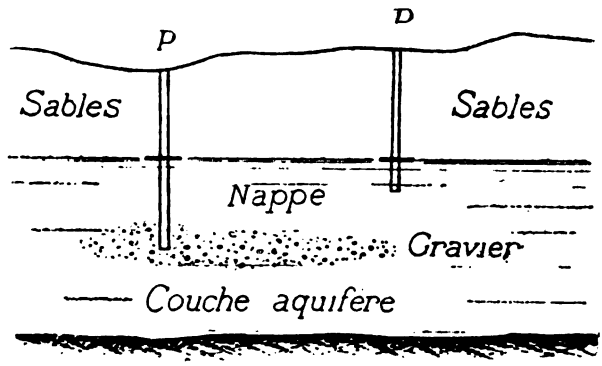


FIG. 5 (1).

Pour avoir l'illusion « d'eaux artésiennes », pas n'est besoin au plateau du Geer de descendre à la base de la craie; et nos Secrétaires le prouvent eux-mêmes quand ils disent : « Le creusement des galeries » alimentaires, comme celui de bien des puits creusés dans la *craie*, a » souvent montré des *jets impétueux*, difficiles à refréner pendant les » travaux et atteignant parfois le diamètre d'une *cuisse humaine* (?), » suivant la pittoresque expression des ouvriers. »

Or, quand une galerie ou un puits tombe sur un tel jet, c'est que l'ouvrage vient de *recouper* un drain naturel et exceptionnel se ramifiant au loin dans la couche aquifère. L'eau qui surgit n'a rien d'artésien; elle appartient, comme les moindres filets, comme les moindres suintements, obtenus avant et après, à la *couche aquifère générale et ordinaire*.

HYDROLOGIE DES CALCAIRES. — Rencontrons de même les *conceptions hydrologiques nouvelles des calcaires de l'Entre-Meuse-et-Ourthe et de Tournai*.

Le compte rendu de l'excursion de 1893 nous fournit, à ce sujet, l'indication suivante :

« M. Rutot — y est-il dit — émet l'avis que, *si l'hypothèse de niveaux*, » *plus ou moins continus, peut être admise* pour certains calcaires à » allure horizontale et régulière, comme ceux de Tournai, par exemple, » il n'en est plus de même pour les calcaires redressés, analogues à » ceux de la région de Rochefort, et *qui forment le cas le plus général*.

(1) La lettre P' que devait comporter cette figure a été manquée dans la reproduction et se trouve, de fait, changée en D.

Digitized by Google

» En tous cas, notre confrère est d'avis que ces niveaux d'eau ne » peuvent être assimilés aux nappes aquifères des terrains *perméables*. » Ils sont uniquement dus à la *présence de l'eau dans certains joints plus* » *corrodés ou remplis de matières terreuses*. »

Un *niveau d'eau* — ou de n'importe quoi — est un point, une ligne, un plan de hauteur relative.

Ce que M. Rutot entend ici par *niveaux*, c'est apparemment *l'eau* contenue dans « certains joints ». Mais alors pourquoi parler d'assimilation de cette matière avec des *nappes* qui sont des *surfaces?*

Notre collègue admet l'*hypothèse de niveaux plus ou moins continus dans les calcaires horizontaux de Tournai*. Mais il ne s'agit pas là d'*hypothèse*, il s'agit d'un *fait* : l'existence d'une *couche aquifère générale* dans cette roche, constatée, relevée, avec sa nappe déterminée de position. (Voir fig. 6.)

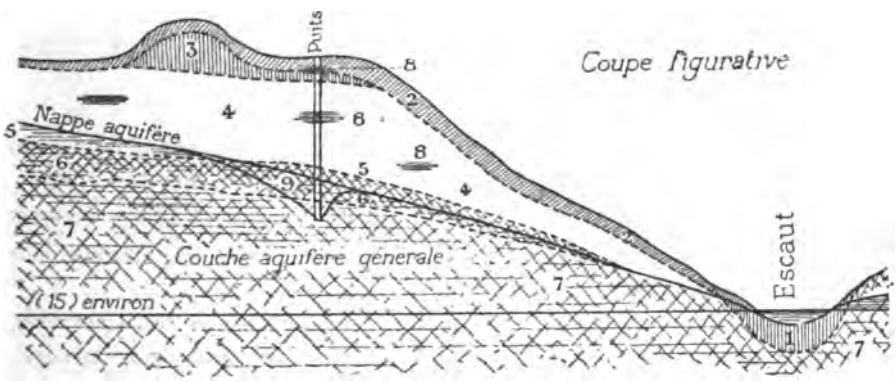


FIG. 6. — SYSTÈME HYDROLOGIQUE DU VERSANT GAUCHE DE L'ESCAUT, A TOURNAI.

1. Alluvions limoneuses et sableuses, perméables, pénétrant dans couche aquifère générale.
2. Limon quaternaire, perméable; eaux locales.
3. Argiles ypresiennes, imperméables; eaux locales.
4. Sables landeniens, très perméables, concrétions, eaux locales.
5. Cailloutis, très perméables. } Couche aquifère générale s'élevant jusque dans les sables sus-jacents.
6. Crétacé, très fissuré. } Couche aquifère générale s'élevant jusque dans les sables sus-jacents.
7. Calcaire, fissuré. } Couche aquifère générale s'élevant jusque dans les sables sus-jacents.
8. Eaux locales.
9. Entonnoir asséché par un puits.

Et puis, qu'est-ce que des « niveaux plus ou moins continus »?

Je croyais avoir clairement constaté que toujours les *eaux*, dans les *couches aquifères*, étaient plus ou moins discontinues; qu'elles étaient nécessairement interrompues par les grains de sable, les graviers, les

Digitized by Google

cailloux, les galets, les blocaux, les massifs; qu'il n'y avait de *continuité effective* que dans les lacs, les rivières, les pièces d'eau, sans matière interruptrice...

Je croyais avoir nettement indiqué, en réponse à MM. Putzeys et Dupont, qu'il ne fallait pas confondre : *eaux, niveaux, nappes aquifères, nappes liquides, couches aquifères, couches liquides*, et que cette confusion ne devrait pas se produire dans une docte compagnie comme la nôtre.

M. Rutot *paraît* admettre une couche aquifère générale dans les calcaires de Tournai, parce qu'ils sont *horizontaux et réguliers*, et il la refuse aux calcaires de l'Entre-Meuse-et-Ourthe, parce qu'ils ont été secoués, ondulés, plissés, brisés, renversés, bouleversés!

Mais c'est la déduction diamétralement contraire qu'il fallait en tirer, car il est clair que plus violemment une roche a été traitée par la nature, plus elle est divisée, plus elle comprend de solutions de continuité communiquantes, plus abondante en eau doit être la couche aquifère qu'elle recèle.

Conception hydrologique nouvelle. — Une autre appréciation, un peu moins vague, peut-être, mais plus complexe, la voici :

Dans la séance du 12 novembre 1895, et après citations diverses d'auteurs de renom, MM. Van den Broeck et Rutot traduisirent leur pensée comme suit :

« Qui donc, après avoir pris connaissance de ces *données si positives,*
» *si concordantes*, oserait encore soutenir que, du moins dans la *partie*
» *descendante et courante de leur parcours souterrain*, les eaux des *cal-*
» *caires* puissent être assimilées aux eaux et aux *nappes d'imprégnation*
» *générale* des dépôts meubles et perméables? Une pareille assimilation
» ne devient admissible que dans les bas niveaux des massifs calcaires,
» situés en dessous des thalwegs des vallées et sous les niveaux des
» sources. Celles-ci sont plutôt en rapport, dans les massifs calcaires,
» *avec les eaux supérieures du régime circulatoire localisé* qu'avec celles
» inférieures, quand elles existent, du *régime statique sous-jacent. Bien*
» *entendu, le trop-plein de ce niveau statique inférieur peut cependant*
» *alimenter des sources dans le fond des vallées.* »

Chacune de ces lignes montre la nécessité pour nous de préciser le sens des termes techniques que nous employons couramment.

Ainsi, qu'est-ce que la *partie descendante et courante des eaux souterraines?*

Qu'est-ce que des *eaux assimilables à des nappes?*

Digitized by Google

Comment arrive-t-on à comparer des volumes à des surfaces?

Comment des *nappes*, qui sont des *surfaces*, peuvent-elles être d'*imprégnation générale?*

Mais, si elles sont d'*imprégnation générale* dans les dépôts meubles et perméables, pourquoi ne le seraient-elles point dans les dépôts rocheux, également perméables?

Pourquoi l'assimilation étant admissible *au-dessous des thalwegs*, ne le serait-elle plus *jusqu'aux thalwegs* et *au-dessus?*

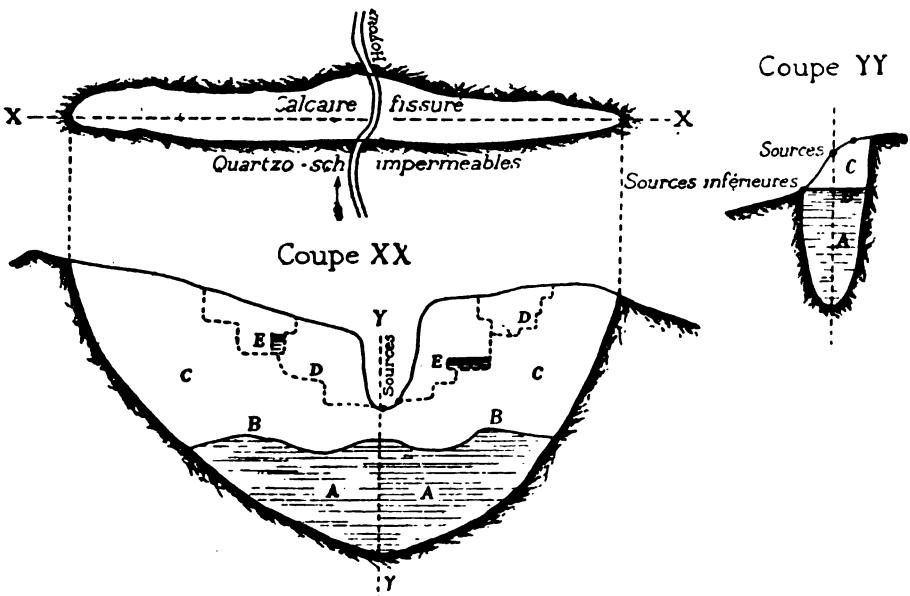


Fig. 7. — Essai de représentation hydrologique des calcaires selon l'argumentation de MM. Van den Broeck et Rutot.

AA. Régime statique sous-jacent? — BB. Nappe? — CC. Massif du régime circulatoire localisé? — DD. Solutions de continuité. — EE. Eaux localisées.

Mais qu'entend-on par *en dessous des thalwegs*, jusqu'où cela va-t-il et comment cela se délimite-t-il?

Pourquoi les sources des massifs calcaires sont-elles plutôt en rapport *avec les eaux supérieures du régime circulatoire localisé?*

Où sont les *données positives et concordantes* pour émettre ces affirmations?

Comment accorde-t-on leur *régime circulatoire localisé supérieur*, alimentaire des sources de ces bassins, avec la constance de ces eaux et l'analogie frappante de leurs qualités?

Digitized by Google

Pourquoi n'explique-t-on plus ces propriétés que nous retrouvons dans nos meilleurs bassins terreux, par le *grand emmagasinement liquide souterrain, réservoir commun d'où sortent* les sources visées, ainsi qu'on le prétendait jadis?

Mais qu'est-ce que leur *régime statique sous-jacent?*

Comment accouple-t-on *régime*, qui suppose le mouvement, avec *statique*, qui implique l'absence de mouvement?

Qu'est-ce que le *trop-plein* d'un *niveau* et surtout d'un *niveau statique?*

Et comment, l'accordant aux sources inférieures d'un bassin quelconque, le rejette-t-on pour les sources moyennes et supérieures?

Pour y voir plus clairement, figurons graphiquement une des cuves du bassin du Bocq ou du Hoyoux (fig. 7).

A la surface, le calcaire apparaît comme une longue lentille disposée en travers de la rivière : c'est l'affleurement d'un massif très fissuré en tous sens, qui descend à plusieurs centaines de mètres de profondeur, enveloppé de toutes parts de psammites imperméables dans leur ensemble, soit par nature, soit par l'eau absorbée.

MM. les Secrétaires se refusent à assimiler les eaux du calcaire représenté, *aux eaux et aux nappes d'imprégnation générale des dépôts meubles et perméables, au moins dans la partie descendante et courante de leur parcours souterrain ;* ils admettent cette assimilation *sous les thalwegs, sous le niveau des sources.*

Pourquoi là et pas ailleurs?

Mais admettons avec eux cette assimilation partielle, et figurons en A. A. la couche aquifère concédée et que limiterait une nappe irrégulière B. B.

Cette nappe peut-elle affecter une allure quelconque, ainsi qu'ils le supposent? C'est impossible; il lui faut une forme d'équilibre : sans écoulement, elle sera partout un plan horizontal ; dans le cas contraire, elle s'infléchira vers les points d'évacuation, c'est-à-dire de l'amont vers l'aval, dans le sens de la rivière.

Voilà donc un premier point rectifié.

Reprenons la coupe transversale. Il nous faudra maintenant y figurer la nappe suivant une *ligne* complètement horizontale, ou tout au plus légèrement infléchie sous le thalweg.

Mais la couche aquifère ainsi fixée représente hydrologiquement une *base absolument imperméable* pour toutes venues subséquentes.

Et d'où arriveront ces eaux subséquentes?

Du haut, comme les eaux antécédentes de la couche aquifère concédée.

Digitized by Google

Ou bien les sources inférieures absorberont, à mesure de leur apparition, toutes ces venues supplémentaires, ou bien elles ne les absorberont pas.

Dans le premier cas, les dites sources en témoigneront par une extrême irrégularité; dans le second, la couche aquifère concédée s'amplifiera, sa nappe s'élèvera.

A mesure que cette nappe s'élèvera, elle s'accusera au fond de la vallée sur des développements grandissants; les points d'évacuation des eaux de sa couche se multiplieront en même temps que les eaux emmagasinées fourniront aux sources inférieures préexistantes des charges de plus en plus notables.

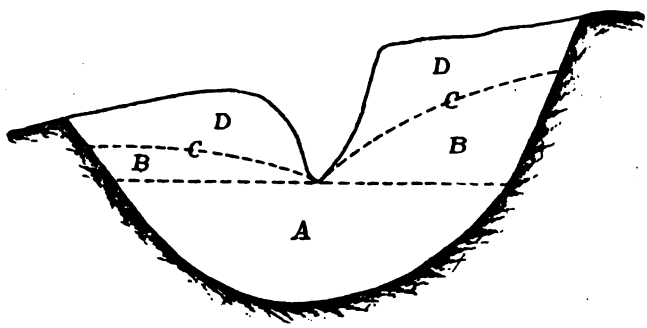


Fig. 8.

Mais tant que la nappe n'aura point partout atteint le thalweg, il y aura toujours, dans le système de MM. Van den Broeck et Rutot, deux genres de sources très distinctes sous tous les rapports : débits, compositions, température : 1° les sources inférieures qu'alimente la couche aquifère concédée ; 2° les sources supérieures qui ne bénéficient pas de cette alimentation.

Les longues et nombreuses constatations faites tant au Hoyoux qu'au Bocq permettent-elles de soupçonner un tel état de choses?

Non! Aucune constatation ne l'autorise, toutes les observations l'infirment; toutes démontrent au contraire :

Que partout la couche aquifère atteint le fond de la vallée des sources;

Que partout les deux versants de la nappe s'élèvent d'autant plus au-dessus du thalweg que ses points s'en éloignent davantage :

Que le système hydrologique souterrain, dans les cas déterminés qui nous occupent, sont donc à représenter, ainsi que nous l'avons toujours fait par le croquis ci-dessus (fig. 8);

Digitized by Google

Que les sources, tant supérieures qu'inférieures, attestent la même origine, la même élaboration, la même influence régulatrice;

Que bien loin de trouver dans les sources supérieures moins de débit et plus d'inconstance, c'est tout juste le contraire que les ingénieurs et les chimistes ont constaté;

Et que la même constatation avait été faite, depuis longtemps, pour les bassins terreux à couches aquifères dites « classiques », notamment pour l'Entre-Senne-Dyle-et-Geetes, ce qui s'explique très bien par le développement plus considérable que prennent en amont de ces sources les couches aquifères qui les alimentent.

J'ajoute, relativement au croquis précité :

Que la portion A de la couche aquifère générale et qui s'élève jusqu'au thalweg est nulle pour la source de l'endroit;

Que cette portion peut avoir de l'effet utile pour les sources émergeant en aval, mais d'autant moins que la résistance à l'écoulement des éléments liquides dans les solutions de continuité sera plus considérable;

Que les portions utiles, pour la source de la coupe considérée, sont celles B B, situées au-dessus du thalweg;

Et que la puissance de ces nouvelles portions peut être accrue par les apports de l'amont, comme elle peut être réduite par leurs pertes vers l'aval.

Tout cela n'empêche pas qu'il puisse exister de-ci de-là, *au-dessus des nappes générales*, des eaux localisées qui s'augmentent en périodes humides, qui se déchargent en périodes sèches, au profit de la *couche aquifère générale*, ainsi qu'il arrive dans les terrains arénacés.

Terminons là notre dissertation. J'espère avoir montré une fois de plus le besoin où nous sommes d'arrêter le sens des mots pour arriver à l'expression nette des idées, et de traduire ces idées par des représentations graphiques qui nous forcent à la précision et empêchent chez les autres l'imagination d'errer.

RÉPONSE DE M. E. VAN DEN BROECK.

M. E. Van den Broeck a fait suivre la présentation orale du travail de M. Verstraeten, qu'on vient de lire, d'une courte réponse, qu'il se proposait de compléter et de rédiger aussitôt qu'il aurait eu sous

Digitized by Google

les yeux le texte écrit de la communication de M. Verstraeten, destinée au *Bulletin*.

Mais comme le mémoire de son honorable contradicteur n'a été fourni au Secrétariat qu'en décembre 1900, soit au moment même où l'on commençait à procéder aux impressions des présents procès-verbaux de l'année 1897, les intentions de M. Van den Broeck n'ont pu pratiquement se réaliser.

Bien entendu, il ne songe nullement à reprocher à l'auteur dont le texte précède, ce retard prolongé, vu les circonstances toutes spéciales, et indépendantes de toutes bonnes volontés, qui ont également empêché jusqu'ici la publication des Procès-Verbaux de 1897. Mais la conséquence de cet état de choses est qu'en vue d'éviter de nouveaux délais, la réponse détaillée de M. Van den Broeck, qui se trouve avoir été élaborée et rédigée au tout dernier moment, n'a pu cependant, malgré cette précipitation forcée, et regrettable peut-être pour la forme littéraire de cet exposé, se trouver prête en temps pour pouvoir être englobée dans les impressions des Procès-Verbaux de 1897, déjà toutes en épreuves dans la première quinzaine de janvier 1901.

Dans ces conditions, il a bien fallu s'incliner devant le cas de force majeure causé par le dépôt si tardif du manuscrit de M. Verstraeten, et faire passer le texte de la réponse de M. Van den Broeck dans les *Mémoires*, où d'ailleurs se trouvent réunis les travaux dépassant la longueur usuelle des communications destinées au Procès-Verbaux des séances.

Profitant de la publication par divers auteurs, depuis mai 1897, de données, d'appréciations et de faits appelés à éclairer utilement le débat ouvert sur l'*hydrologie des terrains calcaires*, M. Van den Broeck ne se fera aucun scrupule, dans sa réponse, d'utiliser des arguments qu'il n'aurait pu opposer naguère à un texte qui lui eût été soumis, lors de sa présentation, en 1897. Il lui a paru que lorsque la *vérité scientifique* est en vue il ne faut négliger aucune lumière, aucun concours pour l'éclairer, au plus grand profit de tous.

Un débat personnel ne peut guère intéresser les lecteurs qu'en raison du dicton bien connu : « du choc des idées jaillit la lumière », et si l'exposé du plus grand nombre possible de *faits* et *d'arguments précis* constitue la meilleure réponse à fournir en cas de vues divergentes, il constitue en même temps un mode d'enseignement et de diffusion précieux pour ceux des non-spécialistes qui trouveront quelque intérêt à se mettre au courant de la *mise au point actuelle* de la question en

Digitized by Google

litige. Et qui doutera que cette mise au point ne soit bien plus précise en 1901 qu'en 1897?

C'est enfin parce qu'il a, dans sa réponse, partagé les vues de M. Verstraeten sur « la nécessité de préciser les situations et les termes », que M. Van den Broeck a cru pouvoir, dans les *Mémoires*, où l'on trouvera le détail de sa réponse et de ses annexes, intituler cet exposé : *Le dossier hydrologique du régime aquifère en terrains calcaires. Réponse à la Note de M. Th. Verstraeten.*

Digitized by Google

SÉANCE MENSUELLE DU 25 MAI 1897.

Présidence de M. **Rutot**, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à 8 h. 45.

Correspondance :

M. *E.-A. Martel* remercie pour sa nomination de membre associé étranger.

L'*Administration communale de Blankenberghe* nous fait part de son désir d'être agréée en qualité de membre effectif de la Société. — *Adhésion.*

Le *Congrès archéologique de Malines* demande à connaître les noms des délégués que la Société a désignés pour la représenter à ce Congrès. Sur la proposition de M. Rutot, M. le baron A. de Loë est choisi à cette fin.

Dons et envois reçus :

1° De la part de l'auteur :

2355. **Koken, E.** *Die Leitfossilien; ein Handbuch für den unterricht und für das bestimmen von versteinerungen.* Leipzig, H. Tauchnitz, 1896. Volume grand in-8° de 848 pages et 900 figures.

2° Périodique nouveau :

2356. Bruxelles. *Société d'études coloniales de Bruxelles* (Bulletin), 1897, janvier et février, n° 1.

Digitized by Google

Présentation et élection de nouveaux membres :

Sont présentés et élus par le vote unanime de l'assemblée :

En qualité de membres effectifs :

BLANKENBERGHE (Administration communale de la ville de).

M. ED. PENY, ingénieur, Secrétaire général des Charbonnages de Mariemont et Bascoup, à Morlanwelz.

En qualité de membre associé regnicole :

M. AD. ORTMAN, 3, rue du Remorqueur, à Bruxelles.

Communications des membres :

M. *Rutot* résume le travail suivant de M. *Henryk Arctowski :*

HENRYK ARCTOWSKI. — **Quelques mots relatifs à l'étude du relief de l'Ardenne et des directions que suivent les rivières dans cette contrée.**

Dans une note publiée dans le *Bulletin de la Société géologique de France* (1895), j'ai cherché à caractériser, en quelques traits généraux, les résultats auxquels des recherches sur le relief du sol en Ardenne m'ont conduit. En résumé, j'ai fait remarquer que cette région se distingue par l'extrême simplicité de son relief; que tous les accidents de terrain, dus aux forces mécaniques (internes), ayant été rasés par la dénudation marine, toutes les dénivellations qui y sont observables sont le produit de l'action exclusive des eaux ruisselantes et de l'érosion.

Remarquons qu'il faudrait ne pas s'en tenir à l'Ardenne seulement, car tout l'ensemble du plateau de terrains primaires devrait être pris en considération. Ainsi les Fagnes, la Famenne, le Condroz, la Hohe Venne, l'Eifel et l'Oesling en font partie, et, de fait, il faudrait encore y rattacher le Hochwald, le Hundsrück et le Taunus vers le sud-est et tout le pays que les Allemands dénomment « Rheinisches Schiefergebirge » vers le nord-est, car tout cet ensemble ne forme en réalité qu'une seule région géologique et orographique.

Digitized by Google

Une étude d'ensemble devrait donc avoir en vue toute cette contrée.

La structure géologique de cette région étendue est des plus compliquées, et une simple promenade dans quelques fonds des vallées fait naître la conviction que ces couches de schistes, de calcaires ou de phyllades, que nous voyons plissées et relevées parfois jusqu'à la verticale même, devaient se prolonger autrefois bien au-dessus des plateaux actuels, et qu'elles ont dû servir de base à une majestueuse chaîne de montagnes (1).

Mais, dès que nous montons le long de l'un des flancs de vallée et que nous atteignons les hauteurs, nous sommes tout à fait désillusionnés, car c'est à perte de vue que nous apercevons le plateau très légèrement incliné, quelque peu bosselé par places, ailleurs ondulé, et toujours découpé par ces profonds ravins dans lesquels s'écoulent les rivières. Des hauteurs, on n'aperçoit point les vallées; de toutes parts, on ne voit que le plateau dont les horizons font suite aux horizons, car parfois jusque dix plans de paysage, et plus même, se présentent à notre vue et, ceci me paraît être l'un des traits caractéristiques de cette plaine, que l'on ne saurait confondre, même à première vue, avec celles qui s'étendent au nord et à l'ouest.

Dans le temps, ce plateau devait être de beaucoup plus uni qu'il ne l'est actuellement, car son relief est pour ainsi dire totalement indépendant de la structure et de la nature géologique du sol, et toutes les dénivellations qui y sont observables sont le produit de l'ablation par les eaux de pluies et de la corrosion par les eaux ruisselantes.

Pourtant, il ne faudrait pas être exclusif, car on tomberait dans l'erreur ; si effectivement la structure n'a pas d'influence sensible sur le relief général, il n'en est pas tout à fait de même de la nature géologique, ou, mieux, de la résistance relative des matériaux qui composent le sol. La crête du Condroz et celle de la Hohe Venne me paraissent être de bons exemples.

Pour ce qui concerne la Hohe Venne, on comprend aisément qu'il doit en être ainsi, car elle peut être considérée comme étant l'ossature même du massif cambrien de Stavelot. Or, non seulement les roches qui composent ce massif sont tout particulièrement résistantes, mais en plus, du temps de l'existence de la chaîne Hercynienne, c'est en cette région que s'élevaient (de toute probabilité) les sommets les plus élevés;

(1) Comparez CORNET et BRIART, *Sur le relief du sol de la Belgique après les temps paléozoïques*. (ANN. SOC. GÉOL. BELG., t. IV, p. 71.)

Digitized by Google

par suite, lors de l'abrasion (1) de cette chaîne, la mer transgressive avait en cet endroit un obstacle très sérieux à vaincre, — cet obstacle a été anéanti, mais les traces de son emplacement ont été gardées jusqu'à nos jours par les relations hypsométriques. D'ailleurs, la preuve de la lutte de la mer avec la masse continentale a été conservée jusqu'à nos jours, car toute la Hohe Venne est recouverte de blocs (des quartzites reviniens sous-jacents) atteignant quelquefois des dimensions très considérables — (par exemple, le grand bloc appelé « le Fait du Diable », dans le bois de Xhoffraix) ; ces blocs sont empâtés dans des limons et par place on en rencontre ayant leurs arêtes émoussées (par exemple, à Desnié). Ce sont là, peut-être, les derniers restes des récifs détruits par les flots de la mer transgressive.

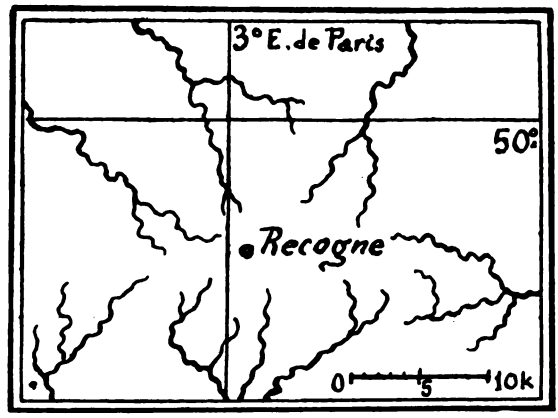


Fig. 1.

Mais, remarquons encore que la Hohe Venne n'est pas la seule bosse s'élevant au-dessus des hauteurs moyennes du plateau ardennais ; le petit massif cambrien de Serpont émerge également au point de vue hypsométrique.

Cette légère protubérance est tout particulièrement intéressante à cause de ce fait que là viennent justement se croiser les limites des

(1) Le mécanisme de la formation des plaines d'abrasion a été étudié par F. von Richthofen ; on trouve tous les détails sur la question dans son admirable ouvrage : *China*, t. II. pp. 710, 766 et suivantes.

Comparez également son *Führer für Forschungsreisende*, pp. 353 et 369.

Des idées semblables ont été émises pour la première fois par Andrew C Ramsay, dans son mémoire : *Denudation of South Wales*. (Memoirs of Geological Survey of Great Britain, 1846)

Digitized by Google

bassins des diverses rivières ardennaises, c'est dans cette région que se trouvent les sources de l'Ourthe occidentale, de l'Homme, de la Lesse, de la Vierre et de la Sûre, et ces rivières rayonnent dans toutes les directions, comme le montre la figure 1 ci-contre.

La contrée est caractéristique, car étant de toutes parts éloigné des vallées, le plateau est relativement très uni en cet endroit; sa pente est très faible (sur la route de Recogne à Bouillon, la pente moyenne est d'environ 1 mètre pour 175 mètres); l'érosion est nulle, et quant aux légères ondulations que l'on y observe, il serait bien difficile de décider si elles étaient préexistantes ou si elles sont exclusivement le produit de l'ablation. De fait, en suivant la route de Recogne, on peut facilement reconnaître une très légère ondulation du plateau; les ondulations sont perpendiculaires à la route et elles servent à l'écoulement des eaux qui, après avoir suivi pendant quelque temps une ondulation, parviennent à s'échapper dans la suivante. Il est à remarquer que les différents filets d'eau qui s'écoulent du massif de Serpont sont, dans le voisinage du massif, par-ci par-là affectés de déviations perpendiculaires à leur direction, c'est-à-dire à la pente générale du terrain : ces lignes de déviation sont disposées concentriquement autour du massif. Si cette disposition particulière du relief était mieux accentuée qu'elle ne l'est en réalité, il est évident que c'est au mode d'action de la dénudation marine, lors de l'abrasion, qu'il faudrait rattacher le phénomène des ondes concentriques.

Les deux exemples que je viens de citer se rattachent à l'abrasion, et la conclusion à déduire est que la mer transgressive n'a pas su vaincre avec la même facilité les différents obstacles que les monts Hercyniens lui offraient; — conséquence : le relief du plateau d'abrasion a été affecté de par ce chef et, par suite aussi, les directions des chenaux d'écoulement des eaux.

Mais il y a encore dans le Condroz un autre cas bien intéressant, cas dans lequel le choix des directions des rivières a été déterminé non pas par le relief, mais par la nature du sol, et ces rivières ont, par leur action érosive, à leur tour accentué le relief.

L'exemple que je désire citer est celui du Hoyoux. Le Hoyoux traverse, perpendiculairement à leur direction, les plissements du bassin du Condroz; or, comme l'aspect de la figure 2 ci-après nous le montre, ses affluents ont des directions parallèles bien marquées; en plus, la Pailhe, la Vyle et la Goesne suivent des synclinaux de calcaire carbonifère, tandis que le Lilet suit, sur presque tout son parcours, une bande de calcaires eifeliens.

Digitized by Google

L'ondulation générale du terrain, qui actuellement est très nettement marquée, n'existait évidemment pas dès l'abord, sans quoi on s'expliquerait difficilement comment le Hoyoux aurait pu traverser ces ondes perpendiculairement à leur direction.

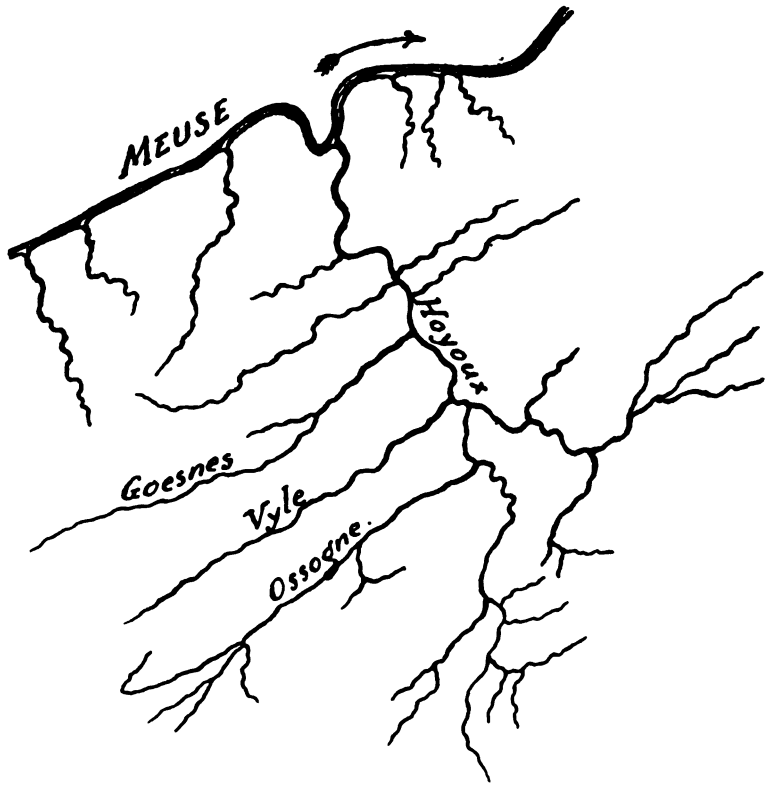


FIG. 2.

Le relief actuel trouve son explication dans l'attaque (par dissolution chimique) plus facile des calcaires que des psammites, car, de par ce fait, les eaux se sont accumulées de préférence dans les bandes calcaires, suivant la direction desquelles elles ont fini par se creuser des lits de rivière.

La grande uniformité du relief de l'Ardenne est un fait des plus remarquables, car il est en corrélation immédiate avec le fait de l'abrasion de ces montagnes, dont nous ne voyons actuellement qu'une tranche pour ainsi dire horizontale. Des rochers de Laifour, par exemple,

Digitized by Google

le panorama est admirable, mais si nous nous efforçons de faire abstraction du creux formé par la Meuse, le plateau s'offre à nos yeux comme un plan des plus uniformes, très légèrement incliné vers le nord. L'entaille profonde que les eaux de la Meuse ont rongée dans le massif, rompt bien heureusement la monotonie du tableau et, comme cette vallée grandiose attire toute notre attention, nous ne nous apercevons même pas de ce fait que ce n'est là qu'un ravin, qu'un simple sillon étroit, nettement délimité de part et d'autre par la surface plane du plateau. Au point de vue du relief de l'ensemble, nous devons faire abstraction de ce sillon, ainsi que de toutes les autres vallées.

L'œil ne pouvant embrasser une grande surface de terrain, nous devons, pour nous rendre compte du relief, tracer des coupes hypsométriques au travers de tout le massif ardennais. Dans ces profils, il n'est pas utile de multiplier les hauteurs, de sorte que la surface comprise entre le niveau de la mer et la surface du sol nous donne une idée claire de la masse et de la forme des terrains.

Ces profils nous démontrent à l'évidence combien est faible la pente générale du terrain ; d'ailleurs, ces pentes sont des plus régulières, ce qui nous fait supposer qu'au début, lorsque les vallées n'étaient pas encore formées, les cours d'eau ont été sollicités à rayonner de toutes parts des parties les plus élevées de la bosse ardennaise vers sa périphérie, et s'il n'en est point ainsi au sud, c'est que les dépôts secondaires du bassin de Paris, qui n'étaient pas encore enlevés par les eaux, devaient s'élever primitivement à des hauteurs de beaucoup plus considérables que maintenant, et que, par cela même, ils pouvaient recouvrir l'Ardenne sur une étendue très grande. Aujourd'hui ces dépôts n'existent plus; ils ont été complètement lavés par l'action des eaux de pluie et par les rivières, et ce n'est que par-ci par-là que quelque îlot crétacé vient affirmer, par sa présence, toute l'étendue du terrain qui se trouvait primitivement recouverte par ces dépôts. De la sorte, nous ne trouvons rien d'étonnant à ce que la Semois et la Meuse s'écoulent vers le nord au lieu d'aller dans le bassin de Paris, — car les relations du relief primitif doivent différer très notablement de ce que nous observons aujourd'hui.

Mais, comme nous le voyons sur la figure 3 ci-dessous, la Meuse ne traverse pas l'Ardenne suivant une droite, suivant la direction de la flèche, mais elle est, au contraire, fortement déviée dans son cours par la rencontre de la plaine d'abrasion, — elle contourne en quelque sorte la bosse AB.

Néanmoins, de nos jours, l'aspect général du pays fait que nous

Digitized by Google

trouvons quelque peu étonnant que la Meuse s'engouffre, près de Château-Regnault, dans les roches résistantes du massif cambrien de Rocroy; c'est ce qui fait que quelques géologues ne peuvent s'expliquer le fait qu'en admettant une grande cassure, primitivement béante, ayant facilité dès le commencement la perte des eaux du fleuve.

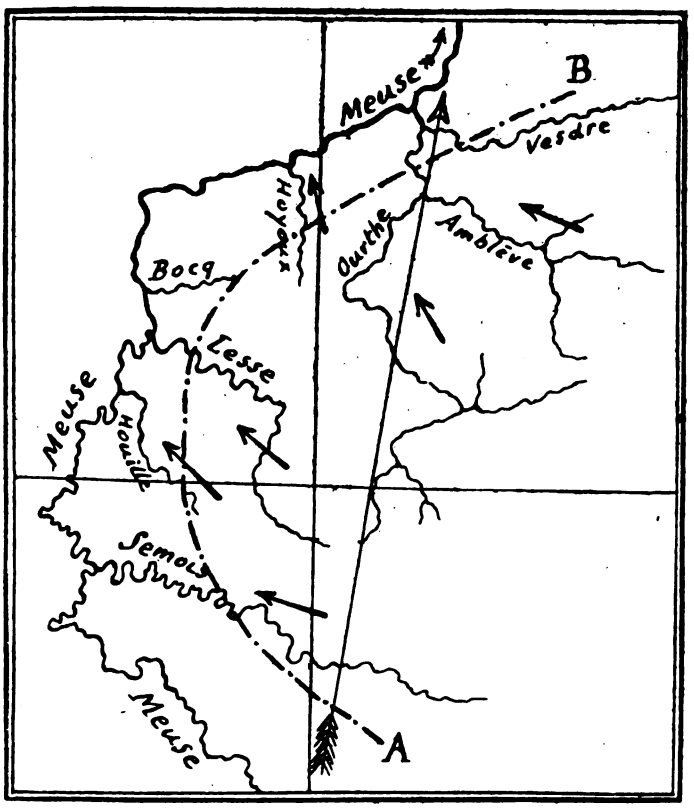


Fig. 3.

Il est plus que probable qu'il n'en a point été ainsi, et que bien loin de là cette entaille, dans les terrains de phyllades, au fond de laquelle la Meuse s'écoule actuellement, est le produit immédiat du travail érosif de ses eaux ; — le temps n'a effectivement pas fait défaut, et la chaleur solaire n'ayant cessé de relever les gouttes d'eau vers les sources, cette force a sans cesse produit du travail mécanique. La percée du massif cambrien de Rocroi, par les eaux de la Meuse, est un des innombrables exemples qui s'offrent à notre admiration. Mais, quoique le travail effectué dans ce cas soit réellement grandiose, il n'est pourtant

Digitized by Google

que très minime comparativement à celui de n'importe quelle rivière alpestre ; et si nous mettions en regard les volumes de matière enlevée, pour des surfaces égales (et si nous pouvions réduire, par le calcul, les différentes régions considérées aux mêmes conditions climatériques), la région ardennaise serait sans aucun doute l'une de celles qui ont été le moins déblayées.

Du reste, pouvons-nous nous faire une idée du temps qu'a employé la Meuse pour effectuer le travail ? Dans l'état actuel de nos connaissances, évidemment non. Toute la durée de l'existence humaine n'est qu'une unité de mesure dans ce cas.

La quantité des matériaux qu'il faudrait pour combler toutes les vallées ardennaises (de façon à rétablir la plaine primitive) est bien considérable ; tous ces matériaux ont été fragmentés, charriés au dehors et mêlés aux apports des eaux du Rhin : ils forment la vaste plaine d'alluvions du territoire néerlandais.

Pourtant, le simple aspect de la carte fait naître en nous la conviction que les matériaux fournis par l'Ardenne ne forment qu'une pelletée relativement à la masse considérable d'autres alluvions qui y sont accumulées ; et, de fait, pouvons-nous effectivement comparer ces quelques rainures, profondes il est vrai, mais étroites, entaillées dans les terrains schisteux, rhénans et ardennais, avec la quantité colossale de matériaux provenant des Alpes, du Jura, de la Forêt-Noire, des Vosges et enfin de cette partie considérable du nord-est de la France qui appartient au bassin de la Meuse ? Dans les terrains tertiaires, l'abrasion peut s'effectuer sans difficulté, c'est ce qui fait que là les vallées des rivières sont généralement spacieuses.

Des hauteurs tout à fait isolées viennent compléter par places la série des terrains sédimentaires, démontrant par leur présence combien grande est la lacune produite par le travail des eaux. Notre étonnement, lorsque nous venons de Sedan et que nous suivons la Meuse jusqu'à son entrée dans les terrains primaires, n'est donc nullement justifié.

Remarquons encore que, dans le plateau ardennais, la coexistence des vallées avec des failles ne peut être qu'accidentelle.

L'hypothèse de la corrélation des vallées et des failles exige cette supposition, qu'au début les failles étaient béantes, ou encore qu'elles étaient marquées par de fortes dénivellations de terrain : ce qui, dans la région considérée, n'est pas soutenable.

De fait, dans d'autres régions, dans les régions montagneuses telles que le Jura, par exemple, on peut rencontrer de nombreuses vallées

Digitized by Google

appuyées sur l'une des lèvres de la faille FF de la figure 4, ci-dessous; ces vallées sont pour ainsi dire greffées sur les failles.

Mais en Ardenne, la coïncidence que l'on peut rencontrer par places n'est pas une coïncidence de cause à effet : c'est une coïncidence purement accidentelle, qui peut évidemment arriver dans une région hachurée de failles.

Ici la structure géologique du sous-sol ne nous est point accusée par des dénivellations, et le relief n'a dans cette région pour ainsi dire absolument rien de commun avec la structure géologique, car tous les accidents de terrain des monts Hercyniens ont été rasés par la dénudation marine. Une plaine RR tranche tout. Donc pas de faille béante,

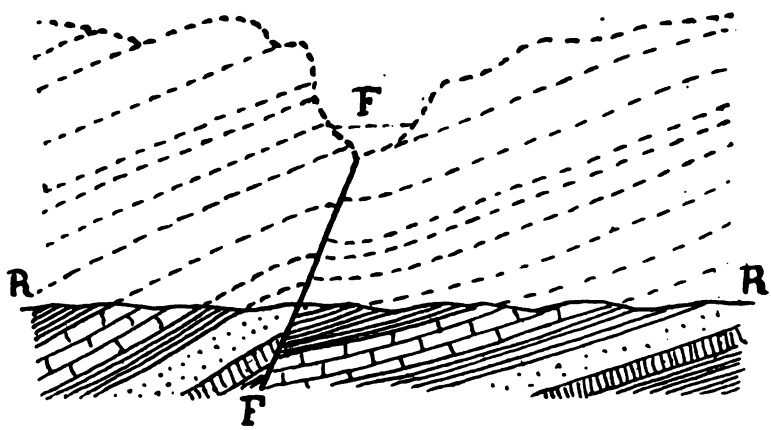


FIG. 4.

car nous sommes dans le cœur de la montagne. Les failles ne sont pas visibles, il faut les chercher pour les voir. Du reste, l'hypothèse de la coïncidence des vallées ardennaises avec les failles se trouve écartée par cette simple remarque, à savoir : qu'au moment où les rivières ont commencé à creuser les vallées et que le choix des directions d'écoulement s'est fait, tout le plateau d'abrasion était recouvert de sédiments meubles, et que les terrains primaires n'étaient pas à découvert comme ils le sont aujourd'hui. La direction des failles n'a donc pu avoir à cette époque aucune influence sur les directions que les chenaux d'écoulement des eaux ont choisies, et les relations hypsométriques ont dû entrer seules en jeu.

Mais, du reste, lorsque ces sédiments ont été presque totalement enlevés, le travail mécanique des eaux courantes a pu s'effectuer dans

Digitized by Google

des conditions tout particulièrement simples, la région ardennaise étant effectivement un plateau d'abrasion.

Ici, aucun accident de terrain n'ayant pu subsister à la dénudation, aucune montagne, aucune crevasse, aucune faille, rien n'a pu servir à déterminer la direction des premiers filets d'eau ruisselante qui se sont établis. Ces premiers rudiments de rivières, n'ayant encore aucun tracé défini, qui se sont formés lorsque la mer transgressive abandonna le continent, se sont sans aucun doute écoulés en grand nombre vers la mer, suivant la pente générale du terrain et les quelques inégalités de hauteur que la surface de la plaine d'abrasion devait nécessairement présenter. Tout ce que l'on peut dire de ces filets primitifs, c'est qu'ils ont dû naturellement devenir tributaires les uns des autres, quelques chenaux ont dû finir par jouer un rôle prépondérant, et c'est jusqu'à ces temps reculés que nous devons de toute nécessité faire remonter l'histoire des rivières que nous voyons aujourd'hui s'écouler des hauteurs des plateaux ardennais.

Londres, le 3 mai 1897.

J. Lambert. — Échinides de la craie de Ciply.

Dans le travail, accompagné de quatre planches, qu'il présente pour nos *Mémoires*, l'auteur, grâce à l'examen qu'il a pu faire des Échinides crétacés du Musée de Bruxelles, et grâce aussi à des envois de MM. Péron et de Grossouvre, a pu entreprendre la revision détaillée des Échinides de la craie phosphatée de Ciply. Les travaux d'exploitation industrielle de cet horizon géologique ont permis d'ajouter aux quelques espèces décrites et signalées par M. Ed. Cotteau en 1875, un bon nombre de nouveautés intéressantes. A celles-ci, l'auteur a adjoint l'examen de quelques espèces des horizons voisins : la craie de Spiennes et le poudingue de la Malogne.

Parmi les espèces à la fois nouvelles pour la faune belge et pour la science, il faut citer *Cidaris Montainvillensis, Macrodiadema Ciplyensis, Salenia Belgica, Gauthieria Broecki, Rachiosoma Grossouvrei, Cyphosoma inops, Cyphosoma Rutoti, Caratomus Rutoti, Echinocorys belgicus;* M. Lambert s'occupe aussi en détail de quelques espèces mal connues ou mal figurées, et toutes ces espèces sont soigneusement décrites et figurées par lui dans des planches d'une belle exécution.

D'intéressantes études sur certains genres mal définis, tels que *Nucleopygus* Agassiz, *Sichnidius* Pomel, *Echinocorys* Breynius, com-

Digitized by Google

plètent la partie descriptive et critique du Mémoire, qui se termine par des considérations stratigraphiques desquelles il résulte, conformément à l'avis de divers géologues, que la faune des Échinides de la craie phosphatée du Hainaut tend à la faire considérer comme une simple modification lithologique de la craie de Spiennes. Celle-ci ne doit former avec elle qu'une assise unique, supérieure à la craie de Nouvelles à *Magas pumilus*, se plaçant au niveau du calcaire de Kunraed et plus récente, par conséquent, que les assises les plus élevées de la craie blanche du bassin de Paris.

L'impression du travail aux *Mémoires* avec les planches qui l'accompagnent est ordonnée.

L. Dollo. — **Quelques mots sur les Oursins.**

L'auteur, s'aidant de figures au tableau noir, passe en revue, avec quelque détail, les principaux types d'Oursins vivants et fossiles.

A. Rutot. — **Compte rendu (première partie) du mémoire de M. Cayeux : Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires.**

M. *Rutot* rend compte de l'apparition d'un très important mémoire de M. L. Cayeux, intitulé : Contribution a l'étude micrographique des terrains sédimentaires : I. *Étude de quelques dépôts siliceux secondaires et tertiaires du bassin de Paris et de la Belgique;* II. *Craie du bassin de Paris;* thèse couronnée publié dans les *Mémoires de la Société géologique du Nord*, Lille, 1897.

A ce sujet, M. Rutot résume les très minutieuses études de M. Cayeux sur le dépôt si intéressant, signalé par MM. Cornet et Briart et connu sous le nom de « Meule de Bracquegnies », que les géologues belges classent dans l'Albien (Crétacé moyen). Il signale que M. Cayeux a reconnu plusieurs espèces de Meules et notamment la Meule quartzeuse et la Meule organique, presque uniquement formée de spicules de spongiaires. Ensuite il expose les résultats relatifs à l'analyse de la Meule, à l'origine du ciment, à la genèse de la roche et à sa comparaison avec d'autres roches siliceuses analogues, telles que la Gaize du Nord de la France.

Digitized by Google

ANNEXE A LA SÉANCE DU 25 MAI 1897.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

PIERRET. — **Les matériaux employés dans la construction des chaussées, des routes provinciales et communales dans le Brabant.** (ANN. TRAV. PUBLICS DE BELGIQUE, 1re année, fascicule II. Résumé de la notice.)

§ I. — Caractères des matériaux utilisés.

A. PAVÉS. — Les matériaux utilisés comme pavés sont : les pierres dites improprement *porphyres*, les *quartzites*, les *grès* (*grès durs* et *psammites*).

Porphyres. — On exploite en Belgique la diorite quartzifère porphyroïde de Quenast (1). Roche éruptive dans le Silurien du Brabant (Quenast, Lessines, Bierghes) (2).

Cette roche se caractérise au point de vue où nous nous plaçons par :

1° La facilité avec laquelle elle se laisse tailler en donnant une cassure droite ou légèrement conchoïdale;

2° Sa grande dureté; cette qualité entraîne avec elle un défaut : le pavé de porphyre se polit par l'usage et devient glissant, inconvénient sans importance pour la voirie en pleine campagne, où une couche de poussière recouvre toujours les chaussées, et auquel on remédie d'ailleurs facilement, dans les agglomérations et les pentes, par l'usage de pavés oblongs de faible largeur (plus grand nombre de joints);

3° Son imperméabilité.

Pavés de tout premier choix.

(1) On a reconnu depuis que c'est une *porphyrite*.

(2) A Bierghes, c'est un *porphyre* quartzifère.

Digitized by Google

Quartzites. — Dans le Cambrien du Brabant (Blanmont, Tubize, peu exploité).

Se divise très irrégulièrement; ne peut être utilisé pour la confection de pavés retaillés.

Grès. — D'après les ciments unissant les grains de quartz, on distingue les grès siliceux, argileux, calcareux. Les derniers ne sont pas utilisés comme pavés.

Le psammite est un grès argileux à grain très fin et parsemé de paillettes de mica.

Grès siliceux. — Dans le Landenien (Huppaye, Tirlemont). Dur, homogène, se taille bien.

Grès argileux. — 1° *Grès du Devonien inférieur* (Fooz-Wépion, Lobbes, Thuin, etc.). Bon pavé, quelquefois tendance à se fendre; 2° *Grès houillers.* Carbonifère supérieur (Gives, Andenne, Lambusart). Bon pavé; le ciment argileux, en s'usant, laisse le grain à nu, donc pas glissant; recherché pour les pentes.

Psammites. — Devonien supérieur (vallée de l'Ourthe, etc.), connus sous le nom de *psammites du Condroz.* Les psammites du fond des vallées conviennent seuls pour la confection des pavés, à cause de leur dureté.

Le psammite se clive avec beaucoup de facilité (à cause de la présence du mica) et fournit les pavés à tête plate. Recherchés pour les villes et les trottoirs (méplats ou platines).

B. Bordures. — On emploie les *porphyres*, les *grès* et le *petit granit.*

Petit granit. — Dans le calcaire carbonifère (Soignies, Écaussines, Ligny).

§ II. — Classement des pavés au point de vue de leurs dimensions.

En consultant le cahier général des charges pour les travaux de l'État, on constate que les pavés admis par le Gouvernement sont divisés en neuf catégories, ou échantillons distincts, dont les trois dimensions varient généralement en même temps d'un échantillon à un autre. Les provinces et les communes admettent encore d'autres catégories. De là des complications lors de la confection des devis et de la mise en adjudication, et plus tard des difficultés d'application.

M. l'ingénieur *Pierret* voudrait apporter une simplification considérable dans la fourniture des matériaux de pavage. Il propose de classer

Digitized by Google

tous les pavés en un certain nombre d'*échantillons* caractérisés par l'*épaisseur* du pavé; chaque échantillon comprendrait un certain nombre de *types* ayant pour la même épaisseur des dimensions et des formes différentes pour la tête; car, ayant adopté un échantillon de pavé pour un travail de voirie, l'ingénieur peut être amené en certains endroits (carrefours, pentes) à en modifier le *type*. Un prix uniforme serait établi par mètre carré pour chaque échantillon, quel que soit le type.

Pour le maître de carrière, il y a avantage à n'employer que des pavés ayant, en tête, des dimensions maxima, car, par unité de surface à paver, il diminue le nombre de joints et réalise par conséquent un bénéfice sur la taille. Quant à l'épaisseur du pavé, il y a avantage pour lui à la réduire (économie de matière) et à ne pas chercher à réaliser une épaisseur uniforme.

Pour l'ingénieur, au contraire, si les dimensions de la tête du pavé n'ont pas grande importance dans les pavages en palier, il y a nécessité d'augmenter les joints, donc de réduire ces dimensions, dans les pentes et agglomérations. Quant à l'épaisseur, il exigera tout d'abord une dimension *uniforme*, afin que le matelas de sable sur lequel repose le pavage ait partout la même hauteur, partant, la même élasticité; ceci pour éviter les déformations de la route.

D'un autre côté, toute proportion gardée, il donnera la préférence aux pavés à *forte* épaisseur, afin de donner au pavage plus de poids et par conséquent plus de stabilité et de résistance au roulage.

Tenant compte de ces considérations et de la faveur dont jouissent actuellement les pavés à dimensions moyennes et les pavés oblongs, M. Pierret demande l'adoption de deux échantillons respectivement de 15 et de 13 centimètres d'épaisseur. Ce sont les n^os^ *4* et *5* des cahiers des charges actuels; il leur conserve ces numéros. Chaque échantillon comprend un certain nombre de types carrés et oblongs. A chaque échantillon de pavé correspond un échantillon de bordure portant le même numéro.

§ III. — Classement des pavés au point de vue de leurs qualités.

Par sa situation au centre du pays, le Brabant voit entrer en concurrence, pour ses travaux de pavage, des matériaux de provenances et de qualités très diverses.

Si un travail de pavage est mis en adjudication, on ne saurait com-

Digitized by Google

parer deux offres qu'à conditions d'affecter les prix d'un coefficient propre à chacun des lieux d'extraction.

A cet effet, l'administration provinciale du Brabant a classé toutes les carrières à pavés en quatre catégories. Ce classement est basé sur la résistance des pavés à l'usure, la percussion, etc., leur composition chimique et leur hygroscopicité, sur les dépenses de renouvellement et d'entretien du pavage calculés pour un laps de temps donné, sur la valeur des pavés mis hors de service.

Avant de classer une carrière, il importe évidemment qu'on soit assuré que l'exploitation se fera toujours dans un banc de nature bien déterminée, qu'on soit assuré que les magasins de la carrière sont pourvus d'un stock de pavés uniformes en suffisance pour assurer une fourniture assez importante sans recourir à des carrières voisines. Toute carrière n'offrant pas ces garanties est classée dans la quatrième catégorie.

A chaque catégorie correspond un coefficient de réduction :

	Coefficient.
1° Porphyres. Grès durs siliceux du Brabant. Quartzites de Dongelberg et d'Opprebais	0
2° Quartzites (autres carrières)	4
3° Psammites (carrières d'Yvoir et Dapsens). Grès houillers (texture compacte)	8
4° Psammites en général. Carrières non classées	12

Ce qui veut dire que si un pavage de la première catégorie coûte 10,000 francs, les autres catégories seront mises sur la même ligne que la première, si elles offrent de faire le travail respectivement pour :

10,000 — 4 % = 9,600 francs.
10,000 — 8 % = 9,200 —
10,000 — 12 % = 8,800 —

Si les deux échantillons entrent en lutte, le coefficient du plus grand échantillon acquiert sur l'autre un bénéfice de trois unités, ainsi :

Si un pavage en porphyre, échantillon n° 5, coûte 10,000 francs, un pavage en troisième catégorie, échantillon n° 4, sera placé sur la même ligne que la précédente, s'il se fait au prix de 10,000 — (8-3) % = 9,500 francs.

Digitized by Google

§ IV. — Empierrements. — Macadams.

Il faut distinguer dans une chaussée empierrée la *fondation* et la *couverture*.

La fondation se fait de pierres d'assez fortes dimensions (blocages); — la couverture, en pierres concassées de dimensions aussi uniformes que possible, entassées au moyen du rouleau compresseur à vapeur, de manière à former une mosaïque serrée et recouverte d'une matière fine d'agrégation, remplissant les vides entre les pierrailles.

Calcaire. — Employé dans le Hainaut et les provinces de Liége et de Namur, où on le trouve sur place (déchets de carrière). Routes boueuses en hiver, poussiéreuses en été.

Dans le Brabant, on n'utilisera le calcaire que comme matière d'agrégation, en le mélangeant au quartzite, silex ou grès dur, avec lesquels il forme, en absorbant l'humidité, une espèce de béton.

Quartzite. — Convient comme fondation, couverture et matière d'agrégation. Pour ce dernier usage, le mélanger avec un peu de calcaire ou de granulé de porphyre.

Tendance à se réduire en sable par les trépidations et les chocs.

Silex. — Mêmes qualités et défauts que le quartzite.

Porphyre. — Pierre par excellence pour l'empierrement, fondation et couverture. On l'emploie en France, où il revient à 30 francs le mètre cube. En Belgique, il coûte 7 à 8 francs.

La notice contient en outre une série de tableaux donnant les principales carrières de pavés en Belgique (situations géographiques et noms de maîtres de carrière).

Enfin, un tableau donnant les principales pierres belges, françaises et quelques pierres d'autres pays, les coefficients d'usure déterminés par le Bureau d'essais de Paris, au moyen de l'appareil Couche et Deral (le porphyre de Quenast étant pris comme unité de comparaison). Ces coefficients sont basés sur les diminutions de hauteur qu'éprouvent des prismes de ces matériaux, chargés de 300 grammes au centimètre carré et glissant sur une longueur de 1000 mètres sur un plateau en fonte saupoudré de sable fin, ou bien usés par un plateau tournant horizontalement et sur lequel reposent les roches à essayer, sous des dimensions égales et chargées de poids uniformes (?). K.

Digitized by Google

SÉANCE MENSUELLE DU 27 JUILLET 1897.

Présidence de M. **Renard**, *Président.*

La séance est ouverte à 8 h. 40.

M. le Président prie M. le professeur *Zenger*, de Prague, qui assiste à la séance, de prendre place au bureau.

Correspondance :

M. le *Ministre de l'Intérieur et de l'Instruction publique* fait connaître qu'appréciant les motifs invoqués par M. *Van den Broeck*, secrétaire général, pour décliner l'honneur d'être délégué du Gouvernement belge au Congrès géologique international de Russie, auquel l'empêchent d'assister ses absorbantes fonctions de Secrétaire de la *Section des Sciences* de l'Exposition internationale de Bruxelles, il a désigné M. *Stainier*, Vice-Président de la Société, comme délégué par son Département au Congrès international de géologie de Saint-Pétersbourg. — *Applaudissements.*

M. *Androussoff*, professeur de géologie à l'Université de Jourieff (Russie), remercie pour sa nomination de membre effectif.

Digitized by Google

Dons et envois reçus :

1° De la part des auteurs :

2357. **Agamennone, G.** *Il Tromometro fotografico.* Modène, 1897. Extrait in-8° de 17 pages.

2358. — *Vitesse de propagation du tremblement de terre d'Amed (Asie-Mineure) du 16 avril 1896.* Modène, 1897. Extrait in-8° de 20 pages.

2359. **Aichino, G.** *A proposito delle Carte agronomiche in Italia.* Rome, 1897. Extrait in-8° de 20 pages.

2360. **Campbell, James.** *Autobiographical sketch of James Croll, with memoir of his life and work.* Londres, 1896. Brochure in-8° de 4 pages.

2361. **Cayeux, Lucien,** *Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires,* I et II. Lille, 1897. Volume in-4° de 589 pages et 10 planches.

2362. **Franklin Emmons, S.** *Presidential address.* (*The geological Society of Washington.*) Washington, 1897. Extrait in-8° de 60 pages.

2363. **Jones-T. Rupert.** *On fossil Entomostraca from Brazil.* Londres, 1897. Extrait in-8° de 8 pages et 1 planche.

2364. **Kilian, W.** *Feuilles de Grenoble, Vizille, Albertville, Valence, Privas, Die, Briançon et Digne.* Paris, 1897. Extrait in-8° de 9 pages.

2365. **Lavalleye, Ph.** *Relevé statistique de décès et tableau synoptique de la fréquence et de l'intensité des principales maladies zymotiques, transmissibles, 1886.* Bruxelles, 1897. Volume in-8° de 221 pages.

2366. **Mattbew, G.-F.** *Abraham Gesner. A review of his scientific work.* New-Brunswick, 1897. Extrait in-8° de 48 pages.

2367. **Mourlon, M.** *Compte rendu de l'excursion du dimanche 4 septembre 1892 dans le Famennien type de la vallée de l'Ourthe.* Liége, 1897. Extrait in-8° de 20 pages.

2° Périodiques nouveaux :

2368. *Bulletin of the Minnesota Academy of natural sciences.* 1892-1894. Vol. IV, n° 1, 1re partie.

2369. *Bulletin de la Station agronomique de l'État à Gembloux.* 1897. Nos 61, 62.

2370. *Société belge d'astronomie : Bibliographia astronomica.* Introduction, janvier-février, mars-avril 1897.

2371. *Abhandlungen der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen,* 1897. Band I, n° 1.

2372. *Harta geologica generala a Romanici.* 4 cartes géologiques.

Digitized by Google

Communications des membres :

A. Renard. — Sur la présence de la zoïsite et de la diallage dans les roches métamorphiques de l'Ardenne.

Dans les roches métamorphiques *de la zone de Paliseul* que j'ai décrites en 1882, on observe, outre les minéraux signalés dans ma notice (1), la zoïsite et un pyroxène monoclinique fibreux, qui se rapproche de la diallage. J'indiquerai brièvement les caractères sur lesquels s'appuie la détermination dans ces roches des deux derniers minéraux.

Zoïsite, en grains microscopiques, incolores, à indice de réfraction élevé, à cassures irrégulières avec nombreuses inclusions charbonneuses. Biréfringence faible. En lumière parallèle, la couleur de polarisation est généralement un gris bleu atteignant le blanc et le blanc jaunâtre du premier ordre dans les parties les plus épaisses. Pour pouvoir déduire de l'observation de cette couleur la grandeur de la biréfringence et avoir ainsi une constante qui pût servir à la détermination du minéral en question, on a déterminé l'épaisseur de la plaque à l'endroit où la teinte de polarisation était le gris bleuâtre; partant de la teinte de polarisation présentée par de petites sections de quartz et d'amphibole répandus dans la masse, on est arrivé à une épaisseur de 20 centimètres environ. Ce nombre a été vérifié d'une manière plus directe par l'emploi du sphéromètre. Par la combinaison de ces deux données, épaisseur et teinte de polarisation, on conclut à une biréfringence ng-np = 0,006. En lumière convergente, ce minéral se montre à 2 axes optiques.

Ces grains cristallins ont en général une forme irrégulière; les sections qui sont allongées ne sont jamais terminées par des droites à leurs extrémités; parmi celles dont les deux dimensions sont à peu près les mêmes, plusieurs sont terminées, au moins en partie, par des contours cristallographiques formant un hexagone. Beaucoup de ces cristaux ont un clivage parfait qui est parallèle à deux des côtés de la section hexagonale; dans les sections allongées, le clivage est parallèle à la direction de l'allongement. Les directions des extinctions font avec les lignes de clivage des angles variables; il est probable que lorsque la section est faite perpendiculairement au plan de clivage, une de ces directions se trouve dans ce plan.

L'étude du signe optique conduit à l'observation suivante, c'est que

(1) A. Renard, *Les roches grenatifères et amphiboliques de la région de Bastogne.* Bull. Musée royal d'hist. nat., 1882, t. I, p. 1.)

Digitized by Google

dans les sections normales la direction du clivage coïncide avec le grand axe de l'ellipse inverse d'élasticité de la section. Un certain nombre de ces sections sont maclées; peut-être les macles sont-elles suivant *m*. Les sections hexagonales coupent les faces *m* et g^1, et c'est à cette dernière face que le plan de clivage est parallèle.

Diallage ou pyroxène monoclinique fibreux. — A l'œil nu on distingue des plages à contours réguliers rappelant des sections dans des cristaux monocliniques, mais dont les formes sont trop peu nettes pour être mesurées au goniomètre. Souvent ces cristaux sont en relief et tranchent par leur dimension et leur couleur sur la masse fondamentale : ils peuvent atteindre jusqu'à 7 à 8 millimètres. Ils sont colorés en vert-olive ou vert jaunâtre et présentent un aspect métalloïdique très marqué, dû à une structure fibreuse qui les rapproche des pyroxènes fibreux rhombique ou monoclinique. Ces cristaux sont presque toujours altérés et transformés en matière talqueuse qui se laisse facilement rayer; après leur disparition, ils laissent dans la roche des vides qui ont gardé leur forme. Au microscope, on voit que les fibres parallèles qui constituent ces cristaux sont toutes orientées de la même façon et que de fines lames quartzeuses sont intercalées entre elles; elles sont à peu près incolores et peu pléochroïques; leur indice de réfraction est élevé; elles éteignent obliquement. Ces fibres sont traversées par une série de cassures plus ou moins parallèles, dont les plus régulières forment avec la direction d'allongement un angle d'environ 74°.

Entre nicoles croisés et en lumière parallèle, la teinte de polarisation varie du jaune rougeâtre du premier ordre au violet et bleu de second ordre; le jaune rougeâtre répond à l'épaisseur de 20 μ, ce qui donne ng-np = 0,020 à 0,025. En lumière convergente, le minéral se manifeste comme biaxe. Tous ces caractères semblent indiquer que ce minéral altéré devait être à l'origine un pyroxène monoclinique, fibreux et rapprochant de la diallage. Ces grains cristallins sont, comme la description précédente le montre, dans un état de décomposition avancé; ils sont sillonnés par des aiguilles d'amphibole.

M. *A. Renard* donne lecture d'une Note dont l'impression aux *Mémoires* est votée et dont voici le résumé :

A. Renard. — La géographie dans l'enseignement supérieur en Belgique.

Les confins de la géologie et de la géographie sont si peu définis qu'il est difficile de fixer les limites de leurs domaines respectifs.

Digitized by Google

J'ai pensé que je servirais les intérêts immédiats des deux sciences, en publiant quelques considérations suggérées par la comparaison des études supérieures de géographie en Belgique et à l'étranger, particulièrement à l'Université de Vienne. D'un autre côté, les réformes que je suis amené à proposer tendent directement à ouvrir une carrière aux docteurs en sciences naturelles, en particulier les docteurs en sciences minérales, en leur confiant l'enseignement de la géographie dans les athénées et les collèges.

Dans nos universités officielles, d'après les prescriptions de la loi de 1890, l'enseignement de la géographie a été fractionné et réparti entre diverses facultés et comme noyé dans d'autres branches. Parmi tous les cours ayant trait à la géographie, ceux du doctorat en philosophie et lettres ouvrent seuls aux élèves universitaires une carrière pour l'enseignement de la géographie.

Si nous voulons nous rendre compte de la part faite à la géographie dans l'enseignement universitaire, nous trouvons que, même pour cette catégorie d'élèves, le rapport des leçons d'histoire à celles de géographie est de 11.5 à 1, et alors que neuf professeurs se partagent la tâche de former les futurs historiens, un seul professeur est chargé de la géographie.

Envisageons maintenant l'enseignement donné à nos futurs professeurs de géographie et comparons leur préparation pédagogique à ce qui se fait dans les universités de langue allemande. Je choisis comme point de comparaison un institut géographique bien outillé, celui de l'Université de Vienne. M. Penck y a installé un *laboratoire de géographie* dans le vrai sens du mot, où les élèves se livrent, sous l'œil du professeur, à des recherches pratiques. L'enseignement complet y est de quatre années, dont la dernière est consacrée plus spécialement à la préparation de la dissertation inaugurale exigée pour l'obtention du grade de docteur.

La géographie physique occupe le premier rang, et M. Penck y consacre cinq heures de leçons par semaine. La large part faite à cette science et aux études se rattachant à la géologie s'explique tout naturellement, mais elle provient aussi de ce que M. Penck est arrivé à la chaire de géographie après avoir, durant longtemps, fait de la géologie pratique comme attaché aux services des cartes géologiques de Saxe et de Bavière. Outre les cours théoriques, il a institué des cours pratiques; il a réuni une collection de cartes, de photographies, de reliefs, de modèles, des tableaux relatifs à la météorologie et à la statistique, des coupes et des profils géologiques, des collections de roches, etc. Les

Digitized by Google

salles de travail forment la partie principale des locaux de l'Institut.

Les exercices auxquels les étudiants se livrent se rapportent aux projections, aux constructions géographiques, à la géographie générale; ils dressent des cartes régionales, ils cherchent à fixer avec plus d'exactitude l'orientation des lignes de volcans, à tracer la marche des tremblements de terre, à déterminer la densité de la population, à établir la bathymétrie de certains lacs et le débit des cours d'eau par des données nouvelles; ils complètent ou corrigent les isobathes des océans, etc.

Pour faciliter les études approfondies de géographie, l'Institut possède une bibliothèque géographique, dont le département le plus riche est celui de la cartographie, où, entre autres, les belles cartes de notre état-major sont mieux représentées que dans certaines bibliothèques des cours de géographie des Universités belges.

Enfin, pour développer les qualités d'observation chez les élèves, M. Penck a organisé des *excursions géographiques* dans les environs de Vienne et dans les Alpes, en Bohème, dans le Hohe Tauern.

Que faut-il faire pour réorganiser l'enseignement de la géographie dans nos universités? Deux solutions se présentent : continuer à recruter les professeurs de géographie parmi les docteurs en philosophie; ou bien permettre aux docteurs en sciences d'enseigner cette branche dans les athénées et les collèges. Dans le premier cas, il faudrait considérablement étendre les études des futurs docteurs en philosophie, et leur enseigner les sciences exactes qu'il est nécessaire de posséder pour pouvoir suivre le développement de la géographie moderne. Il faudrait surtout concentrer les efforts sur la géographie *mathématique et* sur la géographie *physique* qui ne peuvent être abordées avec fruit si l'on ne possède pas des notions sérieuses de sciences. Malheureusement, rien ou presque rien des matières qu'elles embrassent n'est enseigné aux jeunes docteurs, futurs professeurs de géographie. On pourrait peut-être tenter de leur inculquer des notions élémentaires exactes en instituant un cours obligatoire de géographie scientifique d'une durée de deux ans, et de quatre leçons par semaine. Ce cours comprendrait pour la première année l'exposé des éléments de physique du globe et de morphologie et la géographie générale. Pour la seconde année, il comprendrait l'étude de la géographie spéciale de l'Europe occidentale. Des exercices pratiques seraient institués au cours desquels l'élève aurait à préparer une dissertation sur un sujet de géographie. Ces exercices seraient obligatoires comme le cours de géographie physique, et ils prendraient quatre séances par semaine.

Digitized by Google

Toutefois, si l'on ne décide pas de créer un doctorat spécial en en géographie, ce n'est pas là la réforme que je préconise; elle consisterait à choisir des docteurs en sciences naturelles comme professeurs de géographie dans les athénées et, comme corollaire, je propose que l'enseignement de l'histoire et celui de la géographie ne soient plus confiés au même professeur. Les professeurs d'histoire seraient recrutés parmi les docteurs en philosophie, tandis que désormais les professeurs chargés de donner la géographie dans l'enseignement moyen seraient choisis parmi les docteurs en sciences naturelles, qui recevraient une préparation scientifique spéciale, qu'eux seuls, et non les docteurs en philosophie, sont susceptibles à recevoir. Cette mesure permettrait de donner aux études géographiques le fondement scientifique qu'elles réclament.

L. Dollo. — **Les nageoires des Mosasauriens.**

L'auteur rappelle que, dans son dernier Mémoire sur les Mosasauriens, publié dans le *Bulletin* de la Société, il arrivait à la conclusion qu'il existe plusieurs types de nageoires chez les Mosasauriens.

Il signale aujourd'hui, à l'assemblée, un travail tout récent de M. Williston, qui confirme ces vues.

Digitized by Google

SÉANCE MENSUELLE DU 26 OCTOBRE 1897.

Présidence de M. **Rutot**, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à 8 h. 45.

Correspondance :

M. le *Ministre de l'Agriculture et des Travaux publics* nous informe de ce que des instructions sont données pour que les fascicules des *Annales des Travaux publics,* parus en 1896 et 1897, nous soient adressés en échange du *Bulletin* de notre Société.

Le *R. P. G. Schmitz* envoie une photographie reproduisant une surface de glissement dans le Houiller. Il tient à constater qu'il serait puéril de sa part de ne pas admettre la présence de surfaces de glissement proprement dites; mais il a peine à croire que toutes les surfaces lisses et brillantes — spécialement celles qu'on observe d'*ordinaire* au toit et au mur des veines — soient de véritables surfaces de glissement. Il déposera sur ce sujet une note avec figures pour le *Bulletin*.

M. le *Président* fait part à la Société du décès de notre regretté confrère, M. *Vogelaere*, inspecteur général à l'Administration des Chemins de fer de l'État belge.

Digitized by Google

Dons et envois reçus :

1° De la part des auteurs :

2373. **Agamennone, G.** *Tremblement de terre de Paramythia (Épire) de la nuit du 13-14 mai 1895.* Rome, 1895. Extrait in-8° de 10 pages.

2374. — *Vitesse de propagation du tremblement de terre de Paramythia (Épire), 13-14 mai 1895.* Constantinople, 1895. Brochure in-8° de 10 pages.

2375. **Choffat, Paul.** *Observations sur l'article de M. Rollier, intitulé : Défense des facies du Malm.* Lausanne, 1897. Extrait in-8° de 3 pages.

2376. — *Sur le Crétacique de la région du Mondégo.* Paris, 1897. Extrait in-4° de 3 pages.

2377. — *Facies ammonitique et facies récifal du Turonien portugais.* Paris, 1897. Extrait in-8° de 9 pages.

2378. **Dollfus, G.** *Observations géologiques faites aux environs de Louviers, Vernon et Pacy-sur-Eure.* Caen, 1897. Extrait in-4° de 47 pages et 1 coupe

2379. — *Considération sur la délimitation des espèces animales.* Paris, 1896. Extrait in-8° de 4 pages.

2380. — *Revision des feuilles de Rouen et d'Evreux.* Paris, 1897. Extrait in-8° de 2 pages.

2381. — *Revision de la feuille de Meaux.* Paris, 1897. Extrait in-8° de 4 pages.

2382. **Jones, T. R.** *Fossil entomostraca from South America.* Londres, 1897. Extrait in-8° de 11 pages.

2383. **Kuborn, H.** *Aperçu historique sur l'hygiène publique en Belgique depuis 1830.* Bruxelles, 1897. Extrait in-8° de 284 pages.

2384. **Lancaster, A.** *Liste de ses travaux.* Bruxelles, 1896. Brochure in-16 de 8 pages (2 exemplaires).

2385. **Martel, E. A.** *Sous terre (8e campagne).* 1896. Extrait in-8° de 39 pages.

2386. — *Sous terre (9e campagne).* 1896. Extrait in-8° de 46 pages.

2387. — *Origine et rôle des cavernes. Leurs variations climatériques. Leurs rapports avec les filons.* Paris, 1896. Extrait in-8° de 100 pages et 3 planches.

2388. — *Explorations souterraines en France, en Belgique, etc.* Paris, 1896. Extrait in-8° de 4 pages.

2389. — *Quatrième exploration de la rivière souterraine de Padirac (Lot).* Paris, 1897. Extrait in-8° de 18 pages.

Digitized by Google

2390. — *Mitchelstown Cave.* Dublin, 1896. Extrait in-8° de 5 pages et 1 planche.

2391. — *Sur la Foiba de Pisino (Istrie).* Paris, 1896. Extrait in-4° de 3 pages.

2392. — *Sur les siphons des sources et des rivières souterraines.* Paris, 1896. Extrait in-4° de 3 pages.

2393. **Péroche, J.** *L'action de la précession des équinoxes sur les températures du globe; déterminations théoriques.* Paris, 1896. Extrait in-8° de 15 pages.

2394. — *Au sujet de l'état climatérique de l'Afrique septentrionale.* Lille, 1896. Extrait in-8° de 4 pages.

2395. — *Les déplacements polaires; justifications.* Lille, 1895. Extrait in-8° de 8 pages

2396. — *Les températures quaternaires.* Lille, 1897. Extrait in-8° de 24 pages.

2397. **Reade, T. M.** *Present aspects of glacial geology.* Londres, 1896. Extrait in-8° de 10 pages.

2398. — *The exfoliation of gneiss in Brazil.* Londres, 1897. Extrait in-8° de 2 pages.

2399. — *The glacio-marine drift of the Vale of Clwyd.* Londres, 1897. Extrait in-8° de 8 pages.

2400. **Risler, E.** *Géologie agricole.* Paris, 1884-1897. 4 volumes in-8°, 1630 pages.

2401. **Smeysters, J.** *Notice sur la carte des bassins houillers du Centre, de Charleroi et de la Basse-Sambre.* Extrait in-8° de 27 pages et 5 planches.

2402. **Zenger, Ch.** *Les derniers orages en France, en juillet et août 1897, et la période solaire.* Paris, 1897. Extrait in-4° de 3 pages.

2403. *Catalogue de la Section des Sciences de l'Exposition de Bruxelles de 1897.* Bruxelles, 1897. Fascicule I, brochure in-8° de 62 pages.

2° Tiré à part de la Société :

2404. **Choffat, P.** *Les eaux d'alimentation de Lisbonne.* 36 pages.

3° Périodiques nouveaux :

2405. *Niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde zu Bonn. — Sitzungsberichte.* 1896.

2406. *Geological Commission of the Cape of Good Hope. — Cape Town. — Report.* 1896.

Digitized by Google

Présentation et élection d'un nouveau membre effectif :

Est présenté et élu par le vote unanime de l'assemblée :

M. le comte Ch. d'Ursel, Ministre plénipotentiaire et Envoyé extraordinaire de S. M. le Roi des Belges, au château de Gruuthuyse, à Oostcamp.

Communications des membres :

Van Mierlo. — **Note sur les marées de l'époque quaternaire sur les côtes de Belgique.**

M. Van Mierlo fait remarquer qu'il y a lieu de tenir compte de l'action de la marée pour expliquer la rupture du Pas-de-Calais et les modifications du Flandrien. Se basant sur ce qui se passe maintenant contre la presqu'île du Contentin et dans quelques autres golfes assez semblables à ce que devait être la Manche avant la rupture du Pas-de-Calais, il estime que la hauteur de la marée, à cette époque, à Boulogne, devait être de 20 mètres au moins.

D'autre part, dans la mer du Nord, lorsque le Pas-de-Calais était encore un isthme, la marée devait être bien moindre que de nos jours. On la voit, en effet, prendre une amplitude décroissante depuis l'Écosse jusqu'à Yarmouth. Comme le golfe que formait la mer du Nord est mal orienté pour la propagation de la marée, il devait y avoir à peine 50 centimètres de marée en moyenne sur nos côtes.

La conséquence en est que les fleuves devaient avoir une embouchure obstruée par des bancs et des deltas, des courants faibles, et qu'il a dû se former, par suite, des atterrissements jusque tout près du niveau moyen de la mer.

Lorsqu'est venue la rupture du Pas-de-Calais, rupture que M. Van Mierlo estime s'être faite en premier lieu près des côtes françaises, il a dû se produire, sous l'action des fortes marées de la Manche, de véritables chasses d'eau dans la partie méridionale de la mer du Nord : comme conséquence, il y a eu de grands déplacements de galets, de sables et de roches. Des bancs se sont formés dans la mer du Nord, et quand la brèche a été suffisante, les marées telles qu'elles se produisent aujourd'hui se sont fait sentir sur nos côtes.

Tout le régime des fleuves s'est trouvé brusquement modifié et, au lieu de deltas et d'atterrissements uniformes, il y a des passes profondes

Digitized by Google

et des bancs émergeant à marée basse; et il n'est pas besoin d'admettre des affaissements du sol pour expliquer l'inondation de la partie basse du pays ainsi que les ravinements qui se sont produits dans certaines régions; les courants de marée suffisent pour expliquer ces phénomènes.

C'est là, du reste, la thèse finale que défend M. Van Mierlo. Elle tend à réduire la part qui revient dans la configuration de la partie maritime du Flandrien aux soulèvements et aux affaissements du sol pour y substituer en partie — mais non en totalité — l'action de la marée et de ses courants.

M. *Rutot* ne peut qu'approuver le travail de M. Van Mierlo sur les marées de l'époque flandrienne.

Dans son travail sur le Flandrien, il a, faute de temps et de place, simplement esquissé les phénomènes qui ont dû se passer lors de l'envahissement de la mer flandrienne, ayant comme conséquence la formation du Pas-de-Calais.

M. Van Mierlo a approfondi la question, en a fait voir des côtés intéressants résultant de ses connaissances spéciales en hydrographie marine.

Si l'accord ne semble pas complet entre nous, ajoute M. Rutot, c'est que M. Van Mierlo paraît n'avoir pas compris certains points de détail exposés dans le Mémoire sur le Flandrien, ou d'autres, dont il n'a pas été question, M. Rutot n'ayant pu, dans son travail, traiter chaque phénomène *in extenso*.

De toutes façons, le travail de M. Van Mierlo constitue un précieux document à ajouter à nos connaissances relatives à l'époque flandrienne dans notre pays.

E. Van den Broeck. — La géologie et la Société belge de géologie à l'Exposition de Bruxelles.

M. E. Van den Broeck est heureux, pour notre séance de rentrée, après les vacances, de constater que la Classe 83 ou de *Géologie* a constitué une des principales attractions de la *Section des sciences* à l'Exposition de Bruxelles.

Conformément au plan adopté, les diverses parties du *programme*

Digitized by Google

d'exposition que la Société avait élaboré et qui a été accepté par la Commission organisatrice, ont reçu une complète exécution. C'est ainsi que les publications périodiques des Sociétés scientifiques ont groupé des travaux de haute valeur, tels que ceux de la Société géologique de France, qui, depuis près d'un siècle qu'elle existe, prend pour la première fois part à une exposition de ce genre. Les deux Sociétés consacrées à la géologie dans notre pays ont rivalisé d'intérêt dans leur exhibition, et enfin la Société géologique du Nord nous a apporté le précieux appoint de ses savantes et utiles publications.

Un groupe qui a obtenu grand succès, aussi bien auprès du grand public que chez les hommes de science, a été fourni par le vaste ensemble de documents de toute espèce que le programme réunissait sous la rubrique : Phénomènes géologiques. Cette partie de la Classe 83 a été particulièrement instructive, et ses riches documents ont souvent servi de commentaires aux promenades, courses et conférences dans la Section des sciences, que plusieurs de nos collègues ont brillamment organisées et dirigées et qui ont eu le plus complet succès.

La Géographie physique, grâce à de nombreuses photographies, au premier rang desquelles il convient de citer l'admirable série envoyée par le Service géologique des États-Unis, a été fort appréciée. La Stratigraphie n'a pas été moins bien représentée.

Une partie fort instructive et qui a donné matière à d'intéressantes et suggestives comparaisons était fournie par les recherches régionales et par les travaux des grands Services nationaux de géologie.

On a beaucoup remarqué le magistral panneau d'ensemble de la nouvelle Carte géologique belge, à l'échelle du 40000e, dont les quatre-vingt-neuf feuilles encore non imprimées et manquantes étaient représentées par des minutes provisoires se raccordant auxcent trente-sept feuilles déjà publiées.

La France, la Grande-Bretagne, l'Autriche, l'Italie, le Japon, les États-Unis, etc., avaient chacun envoyé des éléments du plus haut intérêt et faisant grand honneur à leurs divers Services gouvernementaux.

La Géologie appliquée, comme on doit s'en douter, a constitué. grâce à une série d'appareils de sondage, à des cartes agronomiques, etc., un champ d'étude des plus attractifs. Mais le grand succès de cette rubrique est allé surtout à la belle et intéressante collection des *matériaux de construction d'origine belge*, dont la Société belge de géologie avait décidé et conduit l'organisation, et qui a réussi au delà de nos espérances, étant donné le temps si limité dont il a été possible de disposer pour mener à bien une œuvre aussi ardue. Des promenades

Digitized by Google

instructives ont, à plusieurs reprises, été organisées en vue de l'étude technique et pratique de cette belle exhibition qui, il faut l'espérer, ne sera pas dispersée et pourra servir de noyau à une exhibition permanente.

Les collections si riches et si variées réunies dans la Classe 83 sous la rubrique : Paléontologie, ont constitué l'un des clous de l'exposition géologique.

De l'étranger comme de Belgique, les adhésions ont été nombreuses et brillantes. Il faut citer en tout premier lieu MM. Krantz et Stürtz, de Bonn, et notre collègue bruxellois, M. le baron A. Bayet, qui a autorisé les organisateurs de la Section des sciences à puiser largement dans ses merveilleuses collections paléontologiques, dont la vue a été, pour beaucoup de visiteurs, une révélation en même temps qu'un émerveillement. L'intéressante exhibition houillère du R. P. Schmitz, de Louvain, a également offert, surtout avec sa curieuse reconstitution de *Sigillaria Sauvenri*, un élément de vif intérêt scientifique.

La Minéralogie et la Cristallographie ont reçu, outre une brillante contribution de nos collègues étrangers, MM. Krantz et Stürtz, un appoint absolument précieux, grâce à la superbe et remarquable exhibition d'un laboratoire type de ces sciences, organisée par M. le professeur A. Renard et M. Stöber, son assistant à l'université de Gand.

La Société belge de géologie avait organisé une *exhibition collective*, à laquelle ont pris part un très grand nombre de ses membres, tant étrangers que belges, et l'on y a particulièrement admiré l'envoi de M. le professeur Renevier, de Lausanne, dont la chronologie géologique et le mode de présentation et d'étiquetage des collections ont fourni l'objet de maintes conférences et causeries.

Un bon nombre de nos confrères ont répondu aux desiderata et questions de concours qui avaient été institués dans le but d'augmenter et d'encourager les progrès de nos connaissances sur des points litigieux ou mal éclairés du domaine géologique. Sept questions ont été couronnées et primées dans la Classe 83.

Formant en quelque sorte une annexe de la Section des sciences et réunie dans le local adjacent, dit : « Salon d'honneur », les quatre grandes Universités belges de Bruxelles, Gand, Liége et Louvain ont pris une part remarquable à l'exhibition scientifique; mais chacune d'elles ayant gardé son autonomie, le sectionnement des diverses branches scientifiques ne correspondent plus à la division en classes du restant de la Section des sciences. Cette circonstance n'empêche pas que des éléments du plus vif intérêt se soient trouvés représentés,

Digitized by Google

notamment au point de vue de la minéralogie et de la cristallographie, ainsi que de la géographie physique, dans cette partie spéciale de la Section des sciences.

En terminant ce rappel rapide des éléments de succès de la Section des sciences dans le domaine géologique, M. Van den Broeck signale encore la série des conférences avec projections qui ont donné tant d'animation et de vie à la Section, parallèlement aux promenades scientifiques dans l'Exposition.

Il ne faut pas s'étonner si tout l'effort, si toute la vitalité de la Société se sont portés irrésistiblement et presque *exclusivement*, en 1897, sur cette *Section des sciences* qui, malgré sa mise sur pied si tardive et une élaboration trop précipitée pour avoir pu être complète, a été un *succès éclatant*, grâce au généreux et sympathique concours des hommes de science du pays et de l'étranger qui ont répondu à l'appel des organisateurs. Certes nos travaux et nos publications de cette période auront à souffrir, mais, en regard de ce qui a été accompli, on n'aura pas à regretter le temps, la peine et l'énergie que chacun des organisateurs et des participants a dû nécessairement dépenser au préjudice de la marche normale des travaux et des publications de celles des Sociétés scientifiques qui, comme la nôtre très spécialement, se sont dévouées au succès de l'œuvre d'initiative et de haute portée que synthétise la *Section internationale des sciences* de l'Exposition de Bruxelles. — *Applaudissements.*

A la suite de cette communication, il est décidé qu'un catalogue détaillé et spécial de l'exhibition de la Classe 83 (géologie) de la Section des sciences, que veut bien se charger de rédiger M. A. Rutot, secrétaire de la Classe, sera inséré, comme souvenir de cette importante manifestation, dans notre *Bulletin*.

A. Rutot. — Communication sur les phosphates de Baudour.

Depuis quelque temps, il était question de l'ouverture d'exploitations de phosphates de chaux à Baudour.

Comme aucune publication ne paraissait au sujet de la nature et de l'âge de ces intéressants gisements, M. Rutot a cru utile de s'y rendre.

Notre collègue a trouvé ouvertes, à 1 kilomètre au sud-sud-ouest de la station de Baudour, de grandes et profondes excavations, appartenant à trois propriétaires, et voisines les unes des autres.

Digitized by Google

Les belles coupes mises à découvert sont semblables dans chacune des exploitations.

Vers le haut, on rencontre une couche de $0^m,50$ à $1^m,50$ de sable meuble avec cailloutis hétérogène à la base, représentant le Flandrien.

Puis vient une couche de sable vert glauconifère, un peu argileux vers le bas, d'âge landenien.

Ce sable landenien est nettement délimité à sa base par un lit de silex divers, plus ou moins arrondis, corrodés et verdis; l'ensemble paraît avoir de 1 à 7 mètres d'épaisseur.

Sous le gravier, base du Landenien, on observe une couche très irrégulière, plus ou moins épaisse, remplissant parfois des puits naturels profonds, formée de grains de phosphate de chaux brun verdâtre, englobant de très nombreux silex condensés en lits serrés, et sous cette couche d'altération évidente se montre, sur des épaisseurs très variables, une craie grossière, grisâtre, un peu marneuse, traversée de bancs de silex alignés, de formes très irrégulières, avec grains de phosphate irrégulièrement distribués.

En certains points, la craie grossière phosphatée normale est visible sur 6 à 7 mètres.

Quel est l'âge de cette craie phosphatée?

M. Rutot répond que, lors de sa visite, il n'y a guère trouvé de fossiles. Il n'a rencontré que quelques fragments d'Ostrea indéterminables, un petit Pecten, qui ne semble pas être le *Pecten pulchellus*, et une Lima ne ressemblant pas à *Lima semisulcata*.

En l'absence de fossiles caractéristiques, et vu la grande proximité des exploitations du biseau crétacé nord du bassin de Mons, l'impression de notre confrère était que l'on pourrait se trouver en présence d'un facies phosphaté du Turonien; mais depuis lors, notre confrère M. J. Cornet, étant allé visiter les gisements de Baudour, a déclaré avoir recueilli des fossiles caractéristiques, tels que *Belemnitella mucronata*, *Pecten pulchellus*, *Rhynchonella limbata*, etc., toujours très abondants dans la craie phosphatée du sud-est de Mons.

La présence de ces fossiles résout donc complètement la question, et il y a lieu, en conséquence, de considérer, avec M. J. Cornet, la craie phophatée de Baudour comme l'équivalent de la craie phosphatée des environs de Mons, classée, ainsi qu'on le sait, à l'extrême sommet du Sénonien.

La base de la craie phosphatée de Baudour n'est pas visible; son substratum est, pour le moment, inconnu.

Digitized by Google

A. Rutot. — **Roches granitiques de l'Ardenne (granite de la Hell).**

M. Rutot présente quatre échantillons du granite découvert par M. Holzapfel, professeur de géologie à Aix-la-Chapelle, et qui lui ont été transmis par un garde forestier.

Le gisement se trouve dans la vallée encaissée du ruisseau et est surtout visible sur la rive allemande.

D'après les échantillons envoyés, le granite se présente sous des aspects différents comme volume des éléments cristallins. L'un des spécimens est très chargé de pyrite.

Une lettre accompagnant l'envoi des échantillons fournit les indications nécessaires pour retrouver le gisement.

Peut-être la Société pourrait-elle organiser une course dans la région.

Communications diverses :

C. Klement. — **Sur la Diallage ouralitisée de l'Ardenne.**

Au commencement du mois de mai de cette année, M. le Directeur du Musée royal d'histoire naturelle de Belgique me remit, pour la collection de minéralogie du Musée, quelques échantillons des roches de Recogne qu'il avait décrites, en 1883, sous le nom de *roches maclifères* (1). Les cristaux renfermés dans ces échantillons ne me semblant pas se rapporter à la chiastolite ou macle, je les soumis à un examen cristallographique et chimique, qui me conduisit bientôt à les considérer comme appartenant à un minéral du groupe des pyroxènes monocliniques. L'éclat nacré très prononcé sur l'une des faces de clivage, ainsi que le résultat de l'analyse chimique, semblaient indiquer la *diallage*. Ne pouvant cependant pas constater, au microscope, les caractères optiques de cette espèce, je soumis mes préparations à M. *A. Wichmann*, professeur à l'Université d'Utrecht, qui voulut bien se charger de leur examen. Il m'informa bientôt que le minéral en question était de l'*ouralite*, c'est-à-dire un pyroxène transformé en

(1) E. Dupont, *Sur l'existence de roches maclifères dans le terrain devonien inférieur de l'Ardenne belge.* (Bull. Acad. roy. Belg., 1885, t. IX, p. 110.)

Digitized by Google

amphibole. Tel était l'état de la question, quand M. *A. Renard*, dans la séance du 27 juillet, à laquelle je n'ai pu assister, annonça la découverte de la diallage dans les mêmes roches. Croyant que les échantillons du Musée pourraient bien être identiques à ceux de M. Renard, je signalai ce fait à M. Wichmann, en le priant de vouloir bien examiner de nouveau les cristaux les plus frais d'apparence. Mais, comme on le verra dans la note qu'il a bien voulu m'adresser sur ses recherches, il n'a pu constater pas même de traces de diallage dans ces préparations.

Les cristaux en question se présentent sous des aspects bien différents d'après le degré de leur conservation.

1° A l'état le plus frais, leur couleur diffère à peine de celle de la roche (1) qui les renferme, couleur qui est un gris très foncé. C'est surtout par l'éclat de leurs cassures qu'ils ressortent vivement, sous certaines incidences de la lumière, de la pâte de la roche entourante. Ils adhèrent tellement à cette roche qu'il est impossible de les en détacher et que l'on n'observe jamais, sur les fragments de roche, des facettes cristallines libres, mais toujours des faces de fractures. Ces dernières se présentent sous la forme de petits rectangles ou rhomboïdes, ayant environ 5 à 8 millimètres de long sur 2,5 à 4 millimètres de large. La structure de ces cristaux est lamello-fibreuse. La surface des lamelles montre un éclat très vif, et la direction des fibres est à peu près parallèle aux petits côtés des rectangles ou rhomboïdes.

Par suite de la grande adhérence de ces cristaux à la roche encaissante, dont ils ont en outre la couleur, il n'a pas été possible d'extraire des cristaux complets pour des mesures goniométriques, ni d'en détacher des fragments suffisamment purs pour les soumettre à une analyse chimique quantitative. Ils ne sont pas d'ailleurs assez homogènes non plus pour se prêter avec avantage à cette analyse, car ils renferment notamment de nombreux grains de quartz.

Les petits fragments sont fusibles au chalumeau en un émail gris et

(1) Rappelons en quelques mots que ces roches, appelées *quartzites grenatifères, actinotifères et hornblendifères* par *Dumont* et dérivant, d'après lui, de la métamorphose de grès, appartiennent au terrain devonien inférieur (taunusien) et font partie de la bande dite *zone métamorphique de Paliseul*. Ce sont des roches massives et compactes, à grains fins très durs et de couleur très foncée, ce qui les fait ressembler quelque peu à des roches basaltiques. M. *Renard*, qui a fait leur étude micrographique en 1882 (*Bull. Musée Roy. Hist. Nat. Belg.*, t. I, p. 1), constate qu'elles sont composées principalement de grains de quartz, de graphite (auquel est due leur couleur), de grenat et d'amphibole. Ne trouvant pas dans la littérature pétrographique de types bien tranchés auxquels on puisse les rapporter, il les désigne sous le nom de *roches grenatifères et amphiboliques*.

Digitized by Google

leur poudre est blanche. L'analyse qualitative a montré qu'ils renferment de la silice, de l'alumine, du fer, de la chaux, de la magnésie et un peu d'eau. Une petite quantité de substance, d'une pureté douteuse, a fourni, à l'analyse quantitative, environ 56 % de silice, 15 % d'alumine, 8 % de peroxyde de fer, 12 % de chaux et 5 % de magnésie.

2° D'autres échantillons, qui me semblent présenter la même substance dans un état déjà plus altéré, montrent de petits cristaux parallélipipédiques se détachant assez facilement de la roche entourante et ressemblant, à première vue, quelque peu à des rhomboèdres aplatis; mais ils appartiennent en réalité au système monoclinique. Les dimensions de ces petits prismes quadrilatères sont d'environ 3 à 15 millimètres suivant les diverses dimensions. A l'extérieur, ces petits cristaux sont de couleur foncée par suite de l'adhérence d'une mince couche de la pâte rocheuse, tandis qu'à l'intérieur ils offrent une couleur claire, jaunâtre ou verdâtre. On y remarque de nombreuses inclusions de grains noirâtres de la masse rocheuse, dont ils sont pour ainsi dire pétris. Leur surface est terne et rugueuse, de sorte qu'ils ne se prêtent point à des mesures à l'aide du goniomètre à réflexion. Ils sont terminés par trois paires de faces, dont deux, se coupant à angle droit, répondent aux deux faces pinacoïdales $h^1(100)$ et $g^1(010)$; la troisième paire, inclinée à environ 74°, peut être regardée comme appartenant soit à la base $p(001)$, soit à l'hémi-orthodome négatif $o^1(101)$, ces deux faces ayant les mêmes incidences pour les pyroxènes monocliniques.

Je n'ai jamais pu trouver de traces de troncatures sur les arêtes ou sur les angles, qui auraient pu fournir des indications sur la véritable position cristallographique de ces faces; il est vrai que les arêtes et les angles sont ordinairement peu nets. On peut constater une certaine tendance à se cliver parallèlement à la face $h^1(100)$, mais leur structure est plutôt fibreuse que lamellaire ; la direction des fibres est généralement parallèle à l'axe vertical. On remarque aussi dans le sens de l'orthopinacoïde un éclat plus vif que dans les autres directions.

Des fragments choisis de ces cristaux, mais dont il était impossible d'éliminer toutes les matières étrangères, furent soumis à l'analyse quantitative et donnèrent le résultat suivant :

1° 0gr,7308 de substance, séchée à 110° et fusionnée par les carbonates de sodium et de potassium, donna 0gr,455 de silice, 0gr,065 d'alumine, 0gr,0623 de peroxyde de fer, 0gr,0821 de chaux, 0gr,1524 de pyro-phosphate de magnésium et des traces de manganèse.

Digitized by Google

2° $0^{gr},7006$ de substance, séchée à 110° et traitée en tube scellé par les acides fluorhydrique et sulfurique, fut titré par le permanganate potassique (1 c. c. $= 0^{gr},00875$ de FeO); on employa $4^{cc},3$ de cette solution pour l'oxydation du protoxyde de fer.

3° $0^{gr},701$ de substance, séchée à 110°, donna $0^{gr},0256$ de perte au feu ; attaquée ensuite par l'acide fluorhydrique, elle fournit $0^{gr},0014$ de chlorure de sodium.

Il résulte de ces données analytiques que la substance analysée a la composition suivante :

SiO_2	62.26 %
Al_2O_3	8.89 —
Fe_2O_3	2.55 —
FeO	5.37 —
MnO	traces.
CaO	11.23 —
MgO	7.51 —
Na_2O	0.20 —
H_2O	3.65 —
	101.66 —

En examinant ces chiffres, on remarque surtout la très forte teneur en silice, due sans aucun doute aux inclusions de quartz que les cristaux analysés renferment.

3° Sur d'autres échantillons enfin, on voit les cristaux en question dans un état d'altération encore plus prononcé : ils sont plus ou moins corrodés et remplis de trous comme une éponge. Finalement, il n'en reste qu'une matière brune ocreuse, qui remplit les vides laissés par la disparition de ces cristaux.

De tout ce qui précède, il résulte que nous avons affaire à des cristaux d'un pyroxène monoclinique qui, d'après les recherches de M. *Wichmann*, s'est transformé en amphibole (ouralite).

Il n'est pas possible de se prononcer d'une manière catégorique sur la nature de ce pyroxène primitif, mais tout indique la diallage, et je n'hésite pas à adopter cette manière de voir, quoique M. *Wichmann* n'ait pas trouvé de traces de cette substance dans nos cristaux.

Digitized by Google

D'ailleurs, la diallage signalée par M. Renard est probablement le pyroxène primitif dont cette ouralite dérive.

Surtout à cause de sa composition chimique très variable, on ne considère plus, en outre, la diallage comme une espèce minérale bien définie, mais plutôt comme un cas particulier, une sorte de facies minéralogique, que peuvent présenter toutes les espèces de la série Diopside-Augite. Cette structure particulière est caractérisée principalement par la séparation facile suivant l'orthopinacoïde et par l'éclat nacré ou métalloïde qu'on remarque sur cette face de séparation, particularités qui se trouvent nettement indiquées sur nos échantillons. Ce qui est un peu plus insolite, c'est la forme cristalline nettement déterminée, car la diallage se présente ordinairement en masses lamellaires sans contours bien définis. Ce n'est qu'exceptionnellement qu'on observe des cristaux nets, tels que ceux de Wildschönau, en Tyrol, par exemple, qui montrent, comme les nôtres, des formes très simples mais d'un type un peu différent.

La diallage est un des éléments caractéristiques des gabbros et de certaines péridotites ; on la rencontre également dans quelques roches amphiboliques, que l'on considère comme ayant subi l'influence du métamorphisme dynamique ; sa présence dans les roches métamorphiques de l'Ardenne n'aurait donc rien d'étonnant.

Il est un fait bien connu, en outre, que la diallage montre une tendance bien marquée à l'ouralitisation.

D'après ce que l'on sait sur ce phénomène, celui-ci n'est pas une simple *paramorphose*, c'est-à-dire qu'il ne consiste pas en un simple changement de la disposition des molécules sans variation de composition ; l'ouralitisation est accompagnée, au contraire, d'altérations chimiques plus ou moins considérables. Mais on a fort peu de renseignements précis à cet égard, car les cas où l'on connaît en même temps la composition de l'ouralite et du pyroxène primitif sont fort rares. M. Dahms (1), qui a discuté incidemment cette question, n'en cite que deux exemples, et les changements intervenus dans ces deux cas sont d'ordre diamétralement opposé. Nous n'avons, en conséquence, pas d'indice relativement à la composition chimique de la diallage dont je suppose que notre ouralite dérive. Quant à la composition de cette dernière, telle qu'elle résulte de l'analyse citée plus haut, nous devons

(1) P. Dahms, *Ueber einige Eruptivgesteine aus Transvaal.* (N. Jahrb. Min., 1891, Beil.-Bd VII, p. 101.)

Digitized by Google

nous rappeler que la substance analysée était encore loin d'être parfaitement homogène.

La teneur très élevée en silice est donc, sans aucun doute, aux inclusions de quartz, et l'alumine appartient probablement, du moins en partie, à la zoïsite, dont M. *Wichmann* signale la présence. Sous ces réserves, les chiffres fournis par cette analyse se rapportent très bien à une ouralite, dont la composition est d'ailleurs fort variable.

A. Wichmann. — Sur l'Ouralite de l'Ardenne.

Le 8 juin de cette année, M. C. Klement, conservateur au Musée royal d'histoire naturelle de Belgique, m'envoya quelques préparations microscopiques d'un minéral qui, d'après ses recherches, semblait se rapporter à la diallage. D'un examen sommaire, auquel je procédai immédiatement, il résulta qu'on avait affaire, en réalité, à un *Ouralite*, le pyroxène primitif s'étant transformé en amphibole. Les propriétés optiques ainsi que le clivage du minéral, en effet, n'admettaient pas d'autre interprétation.

Ayant appris, dans le courant de ce mois, que M. A.-F. Renard, professeur à l'Université de Gand, a signalé récemment la présence de la diallage dans ces mêmes roches, je procédai, sur la demande de M. Klement, à l'examen d'une nouvelle série de préparations faites sur des matériaux mis à ma disposition ; cet examen confirma absolument mes conclusions antérieures.

Les individus renfermés dans la roche noire ont des diamètres variant entre 3 et 6 $^1/_2$ millimètres; ils se font remarquer surtout par leurs reflets et leur éclat semi-métallique. Leurs sections possèdent des formes presque quadratiques, rectangulaires ou clinorhombiques, qui indiquent un pyroxène. La séparation facile suivant l'orthopinacoïde rappelle d'une manière particulière la diallage.

Malgré leurs contours très nets, les cristaux ne se détachent pas de la masse fondamentale qui les entoure, de sorte qu'une détermination exacte de leurs formes n'est pas possible.

Si l'on examine d'abord une section à peu près perpendiculaire à l'axe vertical, on reconnaît immédiatement qu'on a affaire à une hornblende. On y voit, en effet, de petits prismes ayant l'angle caractéristique de 124° et présentant, en outre, le clivage parfait suivant cet

Digitized by Google

angle. Les interstices entre les individus de hornblende sont remplis de quartz incolore.

Dans les coupes parallèles à l'axe vertical, la hornblende se présente sous la forme de longues tiges et aiguilles, dont le pléochroïsme est faible, mais nettement marqué :

$$c = b = \text{vert poireau}, \quad a = \text{vert pâle}.$$

L'extinction fait avec l'axe vertical des angles de 12° à 14°.

De tout ce qui précède, il résulte déjà à l'évidence que le minéral en question se rapporte à une amphibole voisine de l'actinote. En parfaite concordance avec cette interprétation, se trouve ce que l'on observe à de hautes températures : des fragments isolés, chauffés sur une lame de platine, se colorent en brun et deviennent très pléochroïques :

$$c = b = \text{brun foncé}, \quad a = \text{brun jaunâtre}.$$

En même temps, l'angle d'extinction a diminué : il n'est plus que de 7°.

Dans les coupes longitudinales, les petits prismes de hornblende ne sont d'ailleurs pas toujours orientés parallèlement, il y en a qui prennent d'autres positions.

Les formes du quartz sont déterminées par celles de la hornblende, mais on ne remarque aucune orientation régulière des petits grains incolores de ce minéral.

Très répandues, mais d'une manière tout à fait irrégulière, on observe des particules poussiéreuses noires, agrégées quelquefois en amas irréguliers. Dans la masse fondamentale de la roche, on les trouve en telles quantités que celle-ci leur doit sa couleur, et, autour des cristaux pseudomorphiques, on les voit accumulées d'une manière particulière. Puisque à ces endroits on observe souvent la formation secondaire de limonite, on pourrait croire qu'elles sont formées, du moins en partie, d'un minerai de fer. Mais une préparation, plongée pendant trois jours dans l'acide chlorhydrique dilué, n'indiquait aucun changement essentiel, et l'on ne trouvait en dissolution que des traces de fer. C'est, sans doute, l'élément que M. Renard (1) a déterminé

(1) A. Renard, *Les roches grenatifères et amphiboliques de la région de Bastogne.* (Bull. Musée Roy. Hist. Nat. Belg., 1882, t. I, p. 1.)

Digitized by Google

comme étant du graphite. On trouve aussi ces particules noires entre les petits prismes de hornblende, ainsi qu'autour d'un minéral très réfringent qui, d'après tous ses caractères, doit être considéré comme étant de la *zoïsite*. Il est incolore, montre un relief très prononcé et se présente ordinairement sous la forme de petites colonnes épaisses; mais on observe aussi des sections de grains à contours irréguliers. Entre nicols croisés, les petits individus éteignent parallèlement à leur axe. Les couleurs d'interférence montrent principalement le bleu pâle caractéristique et elles ne dépassent jamais le jaune de premier ordre. Le clivage suivant le brachypinacoïde est nettement indiqué.

Dans quelques préparations microscopiques, j'ai observé, enfin, par-ci par-là, des grains pâles, presque incolores, isotropes et sans contours réguliers; ils appartiennent au grenat.

De la diallage primitive supposée, je n'ai pu trouver de traces nulle part.

Digitized by Google

SÉANCE MENSUELLE DU 30 NOVEMBRE 1897.

Présidence de M. **Rutot**, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à 8 h. 50.

Correspondance :

M. le Dr *Petermann*, directeur de la Station agronomique de l'État, à Gembloux, annonce que M. Reinders, professeur de géologie à l'Institut agricole de Wageningen (Hollande), lui a envoyé des échantillons de minerai de fer de marais de son pays, dans lequel on constate la présence de sidérite.

Cette substance n'est pas citée dans les traités belges de minéralogie, et notre collègue, M. Stainier, de Gembloux, n'ayant pas connaissance que cette substance ait jamais été citée dans les échantillons belges de fer de marais, M. Petermann croit bien faire d'attirer sur ce point l'attention de nos confrères.

M. *E.-A. Martel*, secrétaire général de la Société de spéléologie, à Paris, communique à la Société un document retraçant l'œuvre considérable d'études, de recherches et de publications déjà réalisée depuis trois ans par cette Société, fondée en février 1890. Il montre l'ampleur du programme en vue et adresse un appel à tous ceux pouvant, directement ou indirectement, s'intéresser aux travaux de la Société de spéléologie, dont il est indispensable de voir s'accroître dans de fortes proportions le nombre d'adhérents.

Digitized by Google

Dons et envois reçus :

1° De la part des auteurs :

2407. **Aguilera, J. G.** *Expedición científica al Popocatepelt.* Mexico, 1895. Brochure in-12 de 48 pages et 2 cartes.

2408. **Cuvelier, E.** *Considérations sur l'utilité que présente pour l'ingénieur l'étude de la géologie. Sondages dans les terrains tertiaires et quaternaires.* Ixelles, 1897. Extrait in-8° de 35 pages et 1 planche.

2409. **Gaudry, A.** *La dentition des ancêtres des tapirs.* Paris, 1897. Extrait in-8° de 11 pages et 1 planche.

2410. — *Le congrès géologique international de Saint-Pétersbourg.* Paris, 1897. Extrait in-4° de 3 pages.

2411. **Hennequin, E.** *Notice sur les cartes, documents et objets exposés à Bruxelles en 1897.* Bruxelles, 1897. Brochure in-8° de 43 pages et 1 plan.

2412. **Jones, T. R.** and **Chapman, F.** *On the fistulose Polymorphinæ and on the genus Ramulina.* Londres, 1897. Extrait in-12 de 21 pages.

2413. **Mellard Reade, T.** *The origin of mountain Ranges considered experimentally, structurally, dynamically and in relation to their geological history.* Londres, 1886. Volume in-8° de 539 pages et 42 planches.

2414. **Suess, Ed.** *La face de la Terre.* Traduction française par M. Emm. de Margerie. Paris, 1897. Tome Ier. Volume in-8° de 835 pages, 2 cartes et 122 figures.

2° Périodique nouveau :

2415. *La Naturaleza.* Revue de Sciences et d'Industrie. Madrid, 1897. Tome VIII, n° 32.

Présentation et élection de nouveaux membres :

Sont présentés et élus par le vote unanime de l'assemblée,

MM. Gillet, lieutenant du génie, répétiteur à l'École militaire, 25, rue Van den Broeck, à Ixelles lez-Bruxelles.

P. Polis, directeur de la Station météorologique centrale, 29, Alphonestrasse, à Aix-la-Chapelle.

Digitized by Google

Communications du Bureau :

M. le Secrétaire général annonce que le Bureau a décidé de reporter à la date anniversaire de la fondation de la Société, le 17 février 1898, l'Assemblée générale annuelle de décembre.

Il annonce aussi que des négociations sont ouvertes avec de hauts fonctionnaires du Ministère de l'Agriculture et des Travaux publics en vue de transformer en un *Musée permanent de l'État*, la superbe série de matériaux de construction de provenance belge qui a été réunie par les soins et sous les auspices de la Société à l'occasion de l'Exposition internationale de Bruxelles.

Il espère être à même, dans peu de temps, de fournir à ce sujet des renseignements plus détaillés, notamment en ce qui concerne la large représentation de la Société et de son Comité technique dans la *Commission gouvernementale* que l'on se propose de nommer et dont l'a entretenu, à diverses reprises, le secrétaire du cabinet du Ministre, M. *Lambin* qui, en principe, a bien voulu faire le meilleur accueil aux projets de la Société.

Communications des membres :

A. Rutot. — Nouvelles observations sur le Flandrien.

Dans ces dernières années, mes levés géologiques dans les Flandres m'ont permis de faire de nombreuses observations sur le Quaternaire de cette région et principalement sur l'assise la plus supérieure, constituée par le Flandrien.

Dans les Flandres, le Flandrien est représenté par deux facies passant insensiblement et latéralement de l'un à l'autre.

L'un de ces facies est principalement répandu sous la plaine maritime qui borde notre littoral.

Il se développe sous les dépôts modernes et est en général directement recouvert par la tourbe.

Sous Dunkerque, le Flandrien paraît avoir 29 mètres d'épaisseur; il a 18^{m},20 à Furnes, 24^{m},30 à Ostende, 26^{m},50 à Blankenberghe, 17 mètres à Coolkerke près Bruges, etc.

Ces dépôts flandriens sont constitués, vers le haut, par du sable meuble plus ou moins chargé de lentilles, parfois épaisses, de sable

Digitized by Google

très fin, un peu argileux ou limoneux; en descendant, le sable devient généralement meuble, pur; puis, vers le bas, des lits d'argile grise se montrent, accompagnés de nombreuses coquilles marines appartenant à la faune actuelle du littoral, plus *Cyrena fluminalis*.

Enfin, la base du Flandrien est indiquée par un lit graveleux avec galets de silex roulés.

Vers le sud-ouest, le Flandrien marin repose sur l'argile ypresienne. Vers le nord-est, il repose sur les tranches des diverses couches du Paniselien inférieur et du Paniselien supérieur (couches à *Cardita planicosta*).

En dehors de la plaine maritime, l'épaisseur du Flandrien décroît généralement — sauf en des régions, comme au nord de Gand, où l'épaisseur reste toujours grande — et tombe de 3 à 1 mètre.

Le Flandrien est alors constitué par du sable jaune, meuble, pur, terminé à sa base par un lit peu épais de gravier (silex roulés et galets de quartz blanc), d'autant moins développé qu'on s'éloigne de la région des collines, dont le sommet est couvert d'un important cailloutis quaternaire.

Lorsque l'épaisseur du Flandrien dépasse 2 mètres, le sommet est généralement traversé par des zones grises, limoneuses.

Quelques rares points, dont le principal est situé au nord de Poperinghe, montrent encore des coquilles marines (*Cardium edule*, etc.) vers le bas.

Dans la Flandre occidentale, le Flandrien, existant en dehors de la plaine maritime, repose presque toujours sur un limon gris, stratifié, sableux vers le bas, avec *Helix hispida* et *Succinea oblonga* et lit de gravier à la base. Ce limon gris n'est autre que le limon hesbayen; il se raccorde directement, dans la Flandre orientale, avec le facies normal de cette assise.

Dans la Hesbaye et le Brabant, dans une région en ellipse allongée dont le grand axe est dirigé est-ouest, parfaitement localisée, le limon hesbayen gris, stratifié, d'origine de crue, est surmonté par le limon jaune, pulvérulent, homogène, non stratifié, qu'avec M. Van den Broeck nous considérons comme d'origine éolienne.

Dans le Hainaut, ou plutôt dans la vallée de la Haine, le même limon hesbayen est nettement surmonté par le dépôt spécial bien connu sous le nom d'*Ergeron*, adopté par M. Ladrière pour dénommer son assise supérieure du Quaternaire.

Cet *ergeron* est un limon très sableux, très calcareux, très stratifié, hétérogène, à base souvent caillouteuse et ravinante.

Digitized by Google

Donc, sur le manteau de limon gris stratifié constituant le limon hesbayen, manteau qui s'étend depuis la vallée de la Meuse jusqu'aux limites de la plaine maritime, on peut rencontrer, superposé au limon :

1° Soit du limon jaune, pulvérulent, homogène, non stratifié, dans la Hesbaye et le Brabant;

2° Soit de l'ergeron dans la vallée de la Haine et aux environs;

3° Soit du sable flandrien, avec zones limoneuses au sommet, dans toute la Flandre occidentale, la partie nord de la Flandre orientale et du Brabant.

Ces trois dépôts sont-ils contemporains ou non?

L'étude de l'origine des dépôts pourra nous conduire à quelques indications sérieuses.

Avec M. Van den Broeck, je suis d'avis qu'il faut voir dans le limon pulvérulent, homogène, un dépôt éolien.

Après desséchement du limon hesbayen, dû à une vaste crue, la surface de celui-ci a dû subir l'action de vents secs venant de l'est. Ces vents ont soulevé dans la région située entre le Rhin et la Meuse — couverte de limon hesbayen — des nuages de poussière qui sont venus s'abattre sur la Hesbaye et le sud du Brabant, et s'y sont fixés sous forme de limon pulvérulent.

Cette formation nécessite donc un *climat sec*.

L'ergeron, au contraire, est, de toute évidence, un dépôt fluvial; il en a tous les caractères : allure ravinante, stratification irrégulière, récurrences graveleuses, etc.

On peut même dire plus : comme il remplit la large vallée de la Haine, on peut ajouter que c'est un dépôt de forte crue assez locale, contrastant avec le limon hesbayen qui, pour notre pays, est un dépôt de crue générale, à écoulement très lent, alors que l'écoulement, pour ce qui concerne l'ergeron, devait être sensiblement plus rapide.

Or, les crues nécessitent généralement un *climat humide* (fortes chutes de pluie, fontes de glaces); donc, contradiction absolue entre les conditions de la formation du limon pulvérulent homogène d'origine éolienne et celles du limon hétérogène de crue : l'ergeron.

Pour ce qui concerne le Flandrien, très largement répandu dans l'ouest et le nord de notre pays, nous savons que c'est un dépôt d'invasion marine dû à un affaisement du sol, invasion qui a recouvert plus du tiers de nos contrées.

Or, on sait que la proximité de la mer entraîne un climat humide spécial pour la région environnante, de sorte que le dépôt par voie humide de l'ergeron s'accorde parfaitement avec l'invasion marine

Digitized by Google

flandrienne, tandis que le dépôt par voie sèche du limon éolien ne s'accorde nullement avec l'envahissement marin flandrien.

Nous avons donc tout lieu de croire que le limon éolien pulvérulent est distinct, comme âge, de l'époque flandrienne, qui aurait engendré dès lors deux sortes de dépôts : les dépôts marins, de plage sous-marine et de chenaux maritimes d'une part, constituant le facies marin du Flandrien, et, d'autre part, les dépôts fluviaux de crue, ou *ergeron*, constituant le facies continental du Flandrien.

La suite de mes levés géologiques n'a fait que me confirmer dans cette manière de voir.

On sait, en effet, que l'ergeron, en grande partie localisé dans le Hainaut, en Belgique, se développe largement dans tout le Nord de la France; c'est un dépôt essentiellement français.

Or, dans la Flandre occidentale, à mesure que l'on s'approche de la frontière, le Flandrien typique, sableux, si caractéristique, prend peu à peu, vers le sommet, un facies limoneux de plus en plus accentué, au point qu'à la surface du sol, le Flandrien est devenu méconnaissable. Au lieu du sol purement sableux du centre de la Flandre, on est en présence d'un sol cohérent, limoneux, et il faut employer la sonde pour s'assurer que le facies sableux existe réellement sous la couverture essentiellement limoneuse.

Il y a donc là un véritable passage latéral du Flandrien à l'ergeron, et il ne peut y avoir confusion, puisque, en France comme dans la Flandre, c'est le limon hesbayen qui constitue le substratum commun.

D'ailleurs, lorsqu'on étudie attentivement la vallée de la Haine, il est facile de reconnaître que l'assise flandrienne n'y est nullement représentée uniquement par le facies ergeron.

En effet, l'ergeron typique n'est largement représenté que le long du bord sud de la vallée; le long du bord nord, c'est plutôt le facies sableux flandrien qui domine.

Il ne m'avait toutefois pas été donné de voir nettement les deux facies : ergeron et sable flandrien, en relation directe évidente dans la vallée de la Haine.

Je viens de pouvoir faire cette observation de la manière la plus claire et la plus précise dans des travaux de terrassement entrepris dans la station de Jurbise.

Pour l'établissement d'une nouvelle voie de garage, on a mis à nu, sur près de 500 mètres, la paroi nord de la grande tranchée comprise entre Jurbise et Erbisœul.

Digitized by Google

Cette tranchée montre :

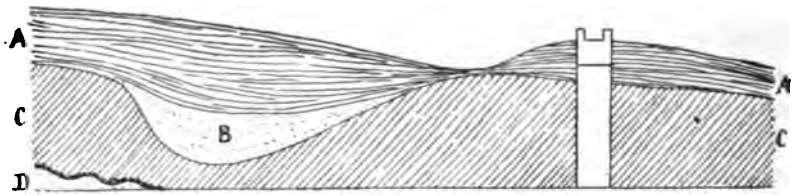


FIG. 1. — *Coupe de la tranchée de la station de Jurbise.*

A. Limon brun très stratifié, avec lits sableux vers le bas. Maximum 3m,00
B. Sable pur jaune, très stratifié. Maximum 2m,00
C. Limon grisâtre à points noirs, stratifié, avec lit de cailloux à la base . . . 4m,00
D. Sable blanc, à grains assez grossiers 0m,30

Le limon A est l'ergeron, passant vers le haut, à la terre à briques; le sable B, qui se lie intimement à l'ergeron et remplit un ravinement, présente absolument le facies flandrien typique; le limon gris stratifié à points noirs avec gravier à la base est le limon hesbayen typique; enfin, D est du sable landenien.

L'ergeron se trouve donc associé ici au sable flandrien typique, et il en constitue la partie supérieure, comme dans les Flandres la couverture limoneuse recouvre le sable flandrien vers la frontière française.

Flandrien des Flandres et ergeron du Hainaut sont donc deux termes équivalents, deux facies locaux des dépôts d'une même période.

La constitution du Flandrien de la partie ouest de notre pays s'explique du reste parfaitement par la suite même des phénomènes.

L'époque flandrienne correspond en effet à deux phases : 1° Invasion marine couvrant plus du tiers du pays et pénétrant dans les vallées des fleuves et des rivières sous forme de chenaux maritimes; 2° Retrait de la mer flandrienne vers le nord-ouest.

Pendant la première phase, la majeure partie de la région envahie par les eaux marines peu profondes a été transformée en plage sous-marine et s'est couverte de sable meuble en raison de l'agitation des eaux.

Pendant le retrait de la mer flandrienne, les fleuves et les rivières, grossis par un climat humide, ont déversé, à la surface des sables, le limon qu'ils charriaient.

Je considère maintenant comme acquise la contemporanéité de l'ergeron et du Flandrien, et c'est, à mon avis, un pas important fait dans la connaissance de notre Quaternaire.

Digitized by Google

Quant au limon pulvérulent, recouvrant dans la Hesbaye et le sud de Brabant le limon hesbayen, je le considère comme s'étant déposé pendant la période de sécheresse qui a suivi le dépôt du limon hesbayen et précédé la période flandrienne, qui est bien la toute dernière des temps quaternaires.

C. Klement. — Exposé du mode de formation du minerai de fer des alluvions.

M. G. Reinders (1), professeur à l'Institut agricole de Wageningen, en Hollande, a signalé récemment la présence du carbonate de fer cristallisé (sidérose) dans un minerai de fer trouvé dans un marais près de Venendaal. Il y a, au nord de la Belgique, des formations ferrugineuses analogues qui pourraient renfermer le même minéral. En outre, la présence de la sidérose, assez rare dans les formations récentes, a encore une importance, en ce sens qu'elle peut donner des indications précieuses sur le mode de formation du même minéral dans les terrains anciens, surtout du sphérosidérite, qui est très répandu dans le terrain houiller et qui s'est formé très probablement d'une manière analogue. Ce sphérosidérite n'est pas autre chose que de la sidérose renfermant des quantités plus ou moins considérables de matières argileuses, et qui se présente sous la forme de gros rognons, dont on trouve ordinairement un grand nombre au même niveau. Il me semble donc utile de donner ici un court résumé du travail de M. Reinders, et dexposer, au préalable, en quelques mots, ce qu'on sait sur l'origine de ces minerais de fer de formation extrêmement récente, que l'on peut désigner d'une manière générale du nom de *minerai de fer des alluvions*.

Ces minerais consistent principalement en hydroxyde de fer mêlé à des quantités variables de sable, d'argile ou de débris végétaux, selon le lieu de leur formation. Ils renferment, en outre, de petites quantités de manganèse, de protoxyde de fer, de chaux, de magnésie et surtout de silice, d'acide phosphorique et de substances humiques. Leur texture est ordinairement poreuse et leur couleur un brun plus ou moins foncé. On les trouve dans les terrains d'alluvions immergés à une faible profondeur, qui dépasse rarement 1 mètre. Ils y forment une sorte de croûte de peu d'épaisseur et d'une étendue horizontale assez restreinte.

(1) G. Reinders, *Het voorkomen van gekristalliseerd ferrocarbonat (siderit) in moerasijzererts*. (Verhand. K. Akad. Wetensch., Amsterdam, 2e sect., t. V.)

Digitized by Google

Ils sont surtout répandus dans les régions riches en forêts et en tourbières, dont le sol est formé principalement de sable ou de gravier et ne renferme pas de calcaire. D'après le lieu de leur formation, on les désigne sous les noms de *minerai des marais, minerai des prairies, minerai des gazons, minerai des lacs*, etc.

Une roche qui montre dans ses caractères physiques beaucoup d'analogies avec ces minerais de fer et qui se forme d'une manière analogue au fond de marais et de tourbières, est l'*Alios* (l'*Ortstein* des Allemands, le *zandoer* des Hollandais). Mais cette roche-là ne renferme que peu de fer; c'est du sable cimenté par des substances humiques, donc une sorte de grès à ciment organique.

Sur le mode de formation des minerais de fer des alluvions, on doit des travaux importants à *Daubrée, Stappf, Sjögren* et à d'autres. Il y a surtout deux points qui ont attiré l'attention de ces auteurs : 1° D'où vient le fer contenu dans ces minerais, et 2° Comment s'est-il déposé?

Déjà *Kindler*, vers 1836, avait observé que le sable ferrugineux au voisinage des racines d'arbres en putréfaction est décoloré par les acides organiques qui prennent naissance par la décomposition des matières végétales, et que l'eau qui sort de ces couches de sable est ferrugineuse. La même observation a été faite par *Daubrée*, qui a publié, en 1845, un travail important sur la formation de ces minerais de fer. D'après cet auteur, le peroxyde de fer réparti un peu partout dans les terrains sableux et argileux, qui renferment en outre des matières végétales en décomposition, est réduit à l'état de protoxyde et dissous à l'état de carbonate par les eaux d'infiltration, sous l'influence de certains produits de la pourriture des végétaux. Si le terrain est très perméable, comme le sont les sables, cette dissolution donne naissance, plus bas, à des sources ferrugineuses. Partout où l'eau de ces sources coule lentement au contact de l'air, elle abandonne, particulièrement pendant l'été, une boue gélatineuse d'un brun noirâtre, qui se compose principalement de protoxyde et de peroxyde de fer combiné à de l'acide carbonique, de l'acide crénique et de l'eau. L'acide carbonique se dégage à mesure que le protoxyde de fer passe à l'état de peroxyde et enfin, après que la substance a été desséchée à la température ordinaire, naturellement ou artificiellement, il ne reste plus que des traces de cet acide.

Le dépôt formé aux environs de chaque source est charrié lors des hautes eaux vers un ruisseau ou dans une rivière du voisinage. Tant que ce ruisseau ou cette rivière coule rapidement, il ne dépose rien sur son lit; mais partout où la vitesse de ces cours d'eau est considérablement

Digitized by Google

ralentie, surtout dans les flaques d'eau stagnante qu'ils alimentent, ou dans les lacs qu'ils traversent, l'oxyde tenu en suspension, ainsi que celui qui est en dissolution, se précipitent petit à petit; puis le dépôt s'infiltrant latéralement dans les sables, va contribuer à l'accroissement de concrétions en forme de veines ou de rognons, lesquelles, au bout d'un certain laps de temps, deviennent exploitables comme minerai de fer. Voilà comment *Daubrée* explique la formation de ce minerai.

Si le dépôt du précipité ferrugineux se forme à un endroit garni d'une riche végétation, sur un terrain marécageux par exemple, le peroxyde de fer peut, comme l'a fait remarquer surtout *Sjögren*, en partie ou en totalité, de nouveau être réduit et dissous sous l'action des produits de la décomposition végétale, puis de nouveau être oxydé et précipité par l'oxygène et l'air, et ce phénomène de dissolution et de précipitation alternantes peut se répéter aussi longtemps qu'il y a continuité de végétation à cet endroit. Il est possibe que ce procédé contribue à la solidification du minerai déposé d'abord à l'état meuble, et à son transport dans des couches plus profondes.

Stapff, qui a étudié vers 1865 le mode de formation des minerais des prairies et des lacs scandinaves, arrive, pour l'origine de ces minerais, à peu près à la même conclusion. Il ajoute que souvent des sources ferrugineuses souterraines, débouchant aux endroits mêmes de la formation des minerais, ne doivent pas être étrangères à leur dépôt. La forme arrondie de certaines plaques de minerai qui ne se sont pas déposées sur les bancs des lacs, ne peut trouver, d'après lui, d'autre explication.

Enfin, on a fait entrer en jeu, pour expliquer le dépôt de ces minerais de fer, l'action vitale de certains organismes. Déjà *Ehrenberg* a constaté, dans le précipité gélatineux qui se forme à l'air dans les eaux ferrugineuses, la présence d'un grand nombre de diatomées, surtout de *Gallionella ferruginea*, dont le squelette est coloré en jaune par le fer et qui, d'après lui, prennent une part active à la précipitation de ce métal. Il est vrai que l'on ne trouve pas toujours leur carapace, dans le minerai même, mais il se peut que ces carapaces, formées de silice, aient été résorbées sous formation de silicates de fer. C'est du moins par cette formation de silicates que *Stapff* explique la solidification du minerai.

D'après *Winogradski*, certaines bactéries, notamment *Leptothrix ochracea*, prendraient part aussi à la formation des dépôts ferrugineux.

Enfin, certaines plantes aquatiques à chlorophylle, surtout du genre *Chara*, peuvent contribuer à la précipitation du fer, en ce sens que

Digitized by Google

leurs feuilles immergées absorbent l'acide carbonique nécessaire pour tenir en dissolution le carbonate ferreux. Telles sont, en quelques mots, les opinions principales qui ont été émises pour expliquer le mode de formation des minerais de fer des alluvions. Revenons maintenant au travail de M. Reinders.

Les prairies marécageuses appelées Ederveen (marais d'Éde), situées à l'est de Venendael, renferment, à différents endroits, un minerai de fer riche en acide phosphorique (4 °/₀ en moyenne), qui s'y trouve à l'état de vivianite formant des taches bleues sur la plupart des échantillons, dont quelques-uns contiennent, en outre, des quantités assez considérables de sidérose en petits cristaux rhomboédriques. On le rencontre au-dessous d'une couche de 20 à 50 centimètres d'un gazon formé de plantes diverses, dont les racines et les basses tiges sont incrustées par le minerai, qui repose lui-même sur un sable à grains fins, auquel il passe insensiblement. Il ne forme pas de couches continues, mais se présente en blocs irréguliers, aplatis et plus ou moins arrondis, à structure quelque peu concentrique, de quelques décimètres de diamètre et souvent réunis à plusieurs latéralement. Les couches inférieures et extérieures de ces blocs, qui renferment le moins de carbonate ferreux, sont les plus friables, tandis que les couches intérieures, qui sont les plus riches en carbonate, sont aussi les plus dures. De même que la consistance et la teneur en carbonate varient aussi la couleur de ces couches, d'un brun jaunâtre à un brun grisâtre.

D'après une analyse chimique quantitative d'un échantillon moyen, l'auteur calcule la composition de ce minerai comme suit : $FeCO_3$ 20.77 °/₀, $MnCO_3$ 4.04 °/₀, $CaCO_3$ 2.27 °/₀, $MgCO_3$ 0.17 °/₀, $Fe_3P_2O_8$ 4.30 °/₀, $CaSO_4$ 0.07 °/₀, Fe_2O_3 10.58 °/₀, Al_2O_3 0.95 °/₀, NaCl 0.23 °/₀, KCl 0.03 °/₀, SiO_2 traces, insoluble (sable) 49.37 °/₀, substances organiques 1.57 °/₀ et eau 5.74 °/₀.

Les prairies dans lesquelles le minerai se trouve sont marécageuses pendant la saison humide; aux temps de sécheresse, les plantes manquent d'eau et dépérissent en partie. L'auteur est d'avis que ces prairies doivent recevoir de l'eau par des courants souterrains provenant des couches de sable situées à l'est, à un niveau un peu plus élevé. Il cite à l'appui de cette opinion le fait que, si l'on perce à certains endroits la croûte de minerai, il sort de l'eau de ce trou. Cette eau est ferrugineuse et renferme jusqu'à 0gr,0771 de carbonate de fer par litre.

Après la discussion des théories de *Daubrée*, *Sjögren*, *Stapff*, etc., résumées plus haut, l'auteur arrive aux conclusions suivantes :

Digitized by Google

Il n'est pas prouvé à l'évidence qu'aux mêmes endroits, où l'on observe le dépôt de cette boue ferrugineuse dont parle *Daubrée*, le minerai *solide* peut se former; toujours est-il que cette formation n'a pas lieu dans tous les cas, et les explications données à cet égard par *Sjögren* (oxydation et réduction alternantes) et par *Stapff* (formation de silicate de fer) ne sont pas suffisantes. D'après l'auteur, la solidification du minerai ne peut se faire que si le dépôt boueux devient sec de temps en temps. En tout cas, dans les prairies qui ne sont pas périodiquement inondées par de l'eau tenant du fer en solution, — comme c'est le cas du marais d'Ede, — le minerai ne peut se former de cette manière; il est évident, au contraire, que le fer doit y être apporté par des sources souterraines.

L'auteur est d'avis que la plus grande partie des minerais de marais se trouvent dans le même cas, de sorte que la précipitation du fer ne se fait pas, comme on l'admet généralement, de haut en bas, mais bien de bas en haut, ou en d'autres termes que ce métal est amené dans les marais non pas par les rivières, mais par des courants souterrains.

Le précipité de peroxyde de fer hydraté se déposera sur les corps solides, en premier lieu sur les racines et les tiges des plantes immergées, il se desséchera et se solidifiera, d'une manière périodique, suivant les variations saisonnières de la nappe aquifère. En parfaite harmonie avec cette manière de voir, se trouvent la disposition du minerai au fond des marais, où il ne forme pas une couche cohérente, mais où il est confiné à certains endroits, ainsi que sa structure, qui indique une formation périodique, déterminée probablement par l'apport plus ou moins considérable d'eau ferrugineuse.

La formation du minerai renfermant de la sidérose n'est qu'un cas particulier, dans lequel une partie du carbonate dissous dans l'eau ne s'est pas oxydée, mais déposée à l'état cristallin. La cause de ce fait doit être cherchée, sans doute, dans la couche d'humus qui le couvre et qui a empêché l'accès de l'oxygène. Mais les circonstances qui ont déterminé sa cristallisation restent inexpliquées. Il est possible que le sable à grains fins sur lequel les cristaux de sidérose se sont déposés, ainsi que l'évaporation lente de la solution ferrugineuse, aient eu une influence favorable pour la formation de cristaux, tandis que le fer se précipite peut-être à l'état amorphe sur des corps organiques et sur les matières argileuses.

La séance est levée à 10 $^3/_4$ h.

Digitized by Google

SÉANCE MENSUELLE DU 28 DÉCEMBRE 1897.

Présidence de M. **Jottrand**, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à 8 h. 40.

Correspondance :

M. *A. Rutot,* remplaçant M. le Secrétaire, absent, lit une lettre de M. le Président, également empêché d'assister à la séance.

Il ajoute, de plus, que M. E. Van den Broeck et lui-même viennent d'être nommés membres associés de la Société géologique du Nord. — *Applaudissements.*

Dons et envois reçus :

2416. **Andreae, A.** *Die Foraminiferen des Mitteloligocäns der Umgegend von Lobsann und Pechelbronn im Unter-Elsass und Resultate der neueren Bohrungen in dortiger Gegend.* Strasbourg, 1897. Extrait in-4° de 16 pages.

2417. **Brongniart, Ch.** *Recherches pour servir à l'histoire des insectes fossiles des temps primaires, précédées d'une étude sur la nervation des ailes des insectes.* Saint-Étienne, 1893. Extrait in-4° de 493 pages et 1 volume de 53 planches.

2418. **Dagincourt.** *Annuaire géologique universel et guide du géologue.* Paris. Tome I, 1885. 1 volume in-12 de 438 pages.

2419. — *Idem.* Paris. Tome II, 1886. 1 volume in-12 de 468 pages et 1 carte.

Digitized by Google

2420. **Carez, L. et Douvillé, H.** *Idem*. Paris. Tome III, 1887. 1 volume in-12 de 1012 pages.

2421. — *Idem*. Paris. Tome IV, 1888. 1 volume in-8° de 910 pages.

2422. — *Idem*. Paris. Tome V, 1888. 1 volume in-8° de 1261 pages.

2423. — *Idem*. Paris. Tome VI, 1889. 1 volume in-8° de 1195 pages.

2424. — *Idem*. Paris. Tome VII, 1890. 1 volume in-8° de 1157 pages.

2425. — *Idem*. Paris. Tome VIII, 1891. 1 volume in-8° de 908 pages.

2426. — *Idem*. Paris. Tome IX, 1892. 1 volume in-8° de 975 pages.

2427. — *Idem*. Paris. Tome X, 1893. 1 volume in-8° de 900 pages.

2428. **Carez, L.** *Idem*. Paris. Tome XI, 1894. 1 volume in-8° de 240 pages.

2429. — *Idem*. Paris. Tome XII, 1895. 1 volume in-8° de 378 pages.

2430. — *Idem*. Paris. Tome XIII, 1896. 1 volume in-8° de 339 pages.

2431. **Delebecque, A.** *Les lacs des Vosges*. Paris, 1895. Extrait in-12 de 6 pages.

2432. — *Jura et Vosges : Feuilles de Lons-le-Saulnier, Saint-Claude et Nantua. Les terrains quaternaires et les lacs du Jura français*. Paris, 1897. Extrait in-8° de 3 pages.

2433. — *La Moraine d'Yvoire*. Genève, 1894. Extrait in-16 de 3 pages.

2434. — *Les ravins sous-lacustres des fleuves glaciaires*. Genève, 1896. Extrait in-16 de 3 pages.

2435. — *Sur l'âge des alluvions anciennes du bois de la Bâtie, de Bougy et de la Dranse et leurs relations avec le lac de Genève* Genève, 1894. Extrait in-16 de 4 pages.

2436. — *Sur l'âge du lac du Bourget et les alluvions anciennes de Chambéry et de la vallée de l'Isère*. Paris, 1894. Extrait in-4° de 3 pages.

2437. — *Sur le carbonate de chaux de l'eau des lacs*. Paris, 1895. Extrait in-4° de 3 pages.

2438. — *Sur les lacs du littoral landais et des environs de Bayonne*. Paris, 1896. Extrait in-4° de 3 pages.

2439. — *Sur l'étang de Berre et les étangs de la côte de Provence situés dans son voisinage*. Paris, 1896. Extrait in-4° de 3 pages.

2440. — *Sur quelques lacs des Alpes, de l'Aubrac et des Pyrénées*. Paris, 1894. Extrait in-4° de 3 pages.

2441. — *Sur les réfractions extraordinaires observées au bord des lacs et connues sous le nom de « Fata Morgana »*. Paris, 1896. Extrait in-4° de 3 pages.

2442. — *Influence de la composition de l'eau des lacs sur la formation des ravins sous-lacustres*. Paris, 1896. Extrait in-4° de 3 pages.

Digitized by Google

2443. — *Atlas des lacs français*, comprenant 11 cartes in-plano. Paris, 1891-1896.

2444. **Delebecque, A.** et **Duparc, L.** *Composition des eaux du lac du Bourget et de quelques autres lacs du Jura et du Dauphiné*. Genève, 1892. Extrait in-16 de 4 pages.

2445. **Delebecque, A.** et **Le Royer, A.** *Sur les gaz dissous au fond du lac de Genève*. Paris, 1895. Extrait in-4° de 3 pages.

2446. **Duparc, L.** et **Delebecque, A.** *Sur les eaux et les vases des lacs d'Aiguebelette, de Paladru, de Nantua et de Sylans*. Paris, 1892. Extrait in-4° de 3 pages.

2447. **Fornasini, C.** *Le Sabbie gialle bolognesi e le ricerche di J. B. Beccari*. Bologne, 1897. Extrait in-12 de 8 pages et 1 planche.

2448. — *Intorno ad alcuni foraminiferi illustrati da O. G. Costa*. Bologne, 1897. Extrait in-12 de 7 pages et 1 planche.

2449. **de Lapparent, A.** *Une nouvelle théorie des anciens glaciers*. Louvain, 1897. Extrait in-8° de 24 pages.

2450. **Laszczynski, St. V.** *Leitfähigkeit von Lösungen einiger Salze in Pyridin*. Halle, 1897. Extrait in-4° de 4 pages.

2451. **Martel, E.-A.** et **Delebecque, A.** *Sur les scialets et l'hydrologie souterraine du Vercors (Drôme)*. Paris, 1896. Extrait in-4° de 4 pages.

2452. **de Mortillet, A.** *Les monuments mégalithiques christianisés*. Paris, 1897. Extrait in-8° de 18 pages et 1 planche.

2453. **Mourlon, M.** *Sur la découverte d'un gisement de Mammouth en Condroz, dans la tranchée de la station de Sovet, de la nouvelle ligne en construction, dite du Bocq*. Bruxelles, 1897. Extrait in-12 de 7 pages.

2454. — *Bibliographia geologica*. Répertoire des travaux concernant les sciences géologiques parus en 1896-1897. Bruxelles, 1898. Tome Ier. 1 volume in-8° de 215 pages.

2455. **de Rouville, P.-G.** *L'Hérault géologique*, 2° partie. Montpellier, 1862-1894. 2 volumes autographiés in-4° de 92 planches.

2456. — *Carte géologique et minéralogique du département de l'Hérault au 80.000°*, en 4 feuilles. Paris, 1876 : 1° Arrondissement de Montpellier ; 2° Arrondissement de Saint-Pons ; 3° Arrondissement de Béziers ; 4° Arrondissement de Lodève.

M. le *Secrétaire* signale tout spécialement le magnifique envoi de l'*Annuaire géologique universel* de MM. L. Carez et Donvillé et des nombreux travaux de M. A. Delebecque. — Des remerciements sont adressés aux donateurs.

Digitized by Google

Bibliographia Geologica.

M. Michel Mourlon, en offrant à la Société un exemplaire du tome Ier de la *Bibliographia geologica* ainsi qu'un exemplaire de la notice intitulée : *La classification décimale de Melvil Dewey appliquée aux sciences géologiques pour l'élaboration de la « Bibliographia Geologica » par le Service géologique*, fait la communication suivante :

La *Bibliographia Geologica*, dont le tome Ier vient de paraître, donne l'énumération de tous les titres d'ouvrages et d'articles de périodiques parus à partir de 1896.

Les tomes, en préparation, qui vont suivre, tout en faisant connaître la littérature géologique de l'année courante, donneront aussi le complément des années précédentes pour la période commençant à 1896, de sorte qu'après un certain temps on aura une bibliographie très complète pour la dite période. Seulement, on comprend qu'un tel travail ne peut être l'œuvre exclusive d'un homme ni même d'une institution, quelque bien préparée qu'elle soit pour l'entreprendre.

Il faut, pour aboutir dans cette nouvelle voie, faire appel à toutes les bonnes volontés afin de pouvoir compter dans chaque pays, voire même dans chaque région, sur un certain nombre de collaborateurs qui, par la division du travail, soient mis à même de collaborer utilement et sans difficultés à l'œuvre commune.

C'est dans ce but que nous nous sommes adressés à nos éminents collègues des différents services géologiques ainsi qu'à toutes les personnes qui, par leur position ou par la nature de leurs travaux, pourraient nous prêter leur précieux concours.

Nous sommes heureux de pouvoir constater que notre appel a été entendu, et l'on comprendra que le résultat a dépassé toutes nos espérances lorsque nous dirons que nous comptons dès à présent plus de deux cents collaborateurs.

Parmi ces derniers, nous devons accorder une mention toute spéciale au savant directeur général du Service géologique du Japon, à Tokio, qui ne nous a pas seulement offert spontanément de nous donner les titres des publications géologiques de son pays, mais encore de les faire traduire en une langue européenne telle que l'anglais, l'allemand ou le français.

Afin d'éviter les doubles emplois et de réduire au strict nécessaire la tâche de nos collaborateurs, nous publierons prochainement une première liste des périodiques compulsés par notre Service.

Digitized by Google

Nous ne nous dissimulons pas les lacunes que présentera cette liste, mais nous avons l'espoir que chacun de nos collaborateurs voudra bien, ainsi que tous ceux qui s'intéressent à l'œuvre, nous aider à les faire disparaître en nous signalant les titres des périodiques qui ne s'y trouvent pas renseignés.

En leur réitérant ici nos plus sincères remerciements pour l'empressement qu'ils ont mis à répondre à notre appel, nous avons l'espoir que leur collaboration au répertoire international et, peut-on dire, universel des travaux géologiques, ne sera que le prélude de relations suivies et étendues pour tout ce qui concerne le progrès des sciences géologiques et l'immense développement que comportent leurs applications.

M. le *Président* remercie M. Mourlon et souhaite bon succès à cette publication éminemment utile.

Élection de nouveaux membres :

Sur la présentation faite par M. le Président :

MM. le chanoine Bourgeat, professeur de géologie à la Faculté catholique de Lille, est élu *membre effectif* de la Société.

Georges Mourlon, 107, rue Belliard, à Bruxelles, attaché au Service géologique de Belgique, est élu *membre associé* regnicole.

Communications des membres :

En l'absence de M. *A. Renard,* M. le Secrétaire donne lecture de la note suivante :

A. Renard. — De l'influence qu'exerce la température sur le pouvoir dissolvant de l'eau, d'après les recherches de G. Spezia (1).

Il arrive que, dans l'étude des problèmes géologiques, on confonde les effets physiques et chimiques produits par la chaleur avec ceux dus

(1) Les travaux de M. Spezia qu'on résume ici, ont paru dans les recueils de l'*Academia Reale delle Scienze di Torino*, sous les titres : *La pressione nell' azione dell' acqua sull' apopillite et sul vetro* (vol. XXX, 31 mars 1895), et *La pressione nell' azione dell' acqua sul quarzo.*

Digitized by Google

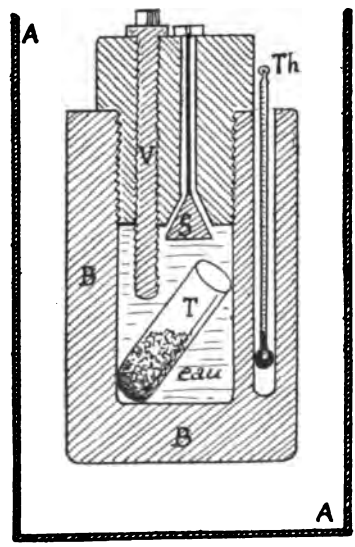
à la pression, et dans ces derniers temps, on a souvent attribué, même à la pression statique, des modifications chimiques dans les roches. Les expériences que je vais rappeler me paraissent devoir éclairer les questions dont il s'agit, et mieux marquer le rôle que joue, dans les modifications que peuvent subir les minéraux, l'élévation de la température.

On connaît l'expérience de Wöhler, dans laquelle ce savant chimiste est parvenu à dissoudre en tube scellé, à une température de 180° à 190° et à la pression de 10 atmosphères, de l'apophyllite ($2H_2O.CaO.SiO_2$) qui recristallise dès que la température vient à s'abaisser. Von Waltershausen ne tarda pas à appliquer les résultats de cette expérience à l'interprétation de l'origine de la palagonite, et il affirma que sous les pressions considérables qui règnent au fond des océans, les minéraux silicatés peuvent se dissoudre. Bunsen réfuta les assertions de Von Waltershausen et, reprenant l'expérience de Wöhler, il montra qu'à la température de 40° et à la pression de 79 atmosphères, l'apophyllite ne se dissolvait pas. Il montrait donc que c'était essentiellement la chaleur qui provoquait la dissolution dans l'eau de cette zéolithe; il établissait, d'une manière péremptoire, que la solubilité de l'apophyllite dans l'eau surchauffée était obtenue dans l'expérience de Wöhler, par la température de 180° à laquelle on élevait le dissolvant, et non par la pression de 10 atmosphères à laquelle on opérait. Ce qui me paraît prouver aussi d'une manière évidente l'influence peu sensible de la pression dans la dissolution des zéolithes par l'eau, c'est qu'aux plus grandes profondeurs marines, à des points où la pression peut dépasser 800 atmosphères, j'ai montré qu'il se forme d'innombrables cristaux de phillipsite (par exemple, St. 276 du Challenger, 4,295 mètres, température du fond 1°,6); nous reviendrons sur ce point tout à l'heure.

Passons aux expériences de M. Spezia; elles conduisent à la même conclusion que celle formulée par Bunsen : que l'action dissolvante de l'eau est due surtout à l'influence de la température. Ces nouvelles recherches ont été faites, me paraît-il, avec un grand soin; je vais indiquer en quelques mots comment l'auteur opère et résume ses résultats. L'appareil dont il se sert (voir la figure ci-dessous) consiste en un récipient cylindrique en acier, à parois épaisses; dans ces parois, on introduit un thermomètre. Ce vase cylindrique est clos à l'aide d'un solide tampon fermant à vis et percé de deux trous; dans l'un se meut la vis V; l'autre sert à la soupape S. On introduit de l'eau

Digitized by Google

distillée dans le récipient et la matière à étudier; celle-ci est renfermée dans un tube en argent (T). Après avoir fait remonter la vis V, on place l'appareil dans le récipient d'une pompe à compression; l'eau entre par la soupape et augmente la pression à l'intérieur du vase cylindrique. Quand on a atteint une pression élevée, on retire l'appareil, on fait rentrer la vis V; celle-ci, en s'introduisant dans le récipient, détermine une pression considérable. Pour expérimenter à des températures élevées, l'appareil est placé dans un vase cylindrique en cuivre et l'ensemble est chauffé à l'aide d'un brûleur. Voici quelques-unes des expériences qu'a faites M. Spezia.



Appareil de M. Spezia démontrant l'influence de la température dans l'action dissolvante de l'eau.

1° Des lamelles de clivage d'apophyllite furent exposées pendant six mois et vingt-quatre jours à une pression de 1,750 atmosphères, et à une température de 25°. Il ne constata pas de solution du minéral.

2° De grandes lamelles de clivage d'apophyllite furent exposées pendant treize jours à une température de 193° à 211° (moyenne 197°) à la pression de 14 atmosphères. Ces lamelles subirent une solution partielle.

Ces deux expériences conduisent à la conclusion que c'est bien à la

Digitized by Google

température que revient la grande part d'influence sur la solubilité et que la pression n'intervient pas d'une manière essentielle.

Une seconde série d'expériences furent faites par l'auteur en substituant à l'apophyllite des lamelles de verre. Les résultats qu'il obtint sont résumés ci-dessous :

Première expérience :

Température = 238°; pression = 33 atmosphères; 11 jours de durée, la plaque de verre avait perdu 1mm,1 de son épaisseur.

Deuxième expérience :

Température = 139°; pression = 1025 atmosphères; 11 jours de durée, la plaque n'était que superficiellement attaquée.

Troisième expérience :

Température = 143°; pression répondant à celle de l'eau à 143°; 4 jours de durée, la plaque était décomposée, mais moins que dans l'expérience 2.

Quatrième expérience :

Température = 118°; pression = 117 atmosphères; 4 jours de durée, la plaque était très peu décomposée.

Cinquième expérience :

Température = 116°; pression = 1400 atmosphères; 4 jours de durée, la plaque était très peu décomposée, mais un peu plus que dans l'expérience 4.

Il ressort de ces expériences qu'à une température donnée, une augmentation de la pression peut exercer une certaine influence sur la solubilité; mais que cette influence n'est pas à mettre en comparaison avec celle exercée par l'élévation de la température.

La troisième série d'expériences fut instituée par M. Spezia pour contrôler les observations de Pfaff sur la solubilité du quartz dans l'eau. Étant donné le rôle considérable de ce minéral dans la nature et son importance lithologique, cette série de recherches est surtout intéressante pour la géologie. Tous les traités répètent que Pfaff a montré qu'à la température de 18° et à la pression de 290 atmosphères, une partie de quartz est soluble dans 4,700 parties d'eau. Les essais de Pfaff manquent d'exactitude; ils sont contredits par les recherches dont nous exposons les résultats :

1° Une plaque de quartz du poids de 11gr6641, dont la surface était de 2,206 millimètres carrés, fut exposée à une pression de 1,750 atmo-

Digitized by Google

sphères et à une température de 25° pendant cinq mois et trois jours : on ne constata pas de perte de poids;

2° Une plaque de quartz taillée parallèlement à l'axe cristallographique, du poids de 1gr5545, dont la surface était de 994 millimètres carrés, fut exposée à une pression de 1,850 atmosphères et à une température de 27° pendant cinq mois et quatre jours : on ne constata ni pertes de poids ni de figures de corrosion;

3° Une plaque de quartz polie fut maintenue dans l'appareil pendant quinze jours à la température de 230° à 240° avec la pression qui correspond à la tension de vapeur pour cette température : les figures de corrosion nettement prononcées furent produites sur la plaque.

Ces expériences prouvent qu'en ce qui concerne la solubilité du quartz dans l'eau, la cause essentielle n'est pas la pression, mais bien la température.

Je ne m'arrête pas à énumérer toutes les conclusions de haut intérêt géologique qu'on peut faire découler de ces recherches : on voit d'un coup d'œil quelles applications nombreuses elles trouvent dans les questions relatives au métamorphisme des rochers, à la formation des filons métallifères et lithoïdes, à celle des sources minérales, etc.; qu'il me suffise d'indiquer la grande portée qu'ont, à mon avis, ces résultats au point de vue du mode de formation des dépôts pélagiques. En commençant l'analyse des travaux de M. Spezia, j'ai fait observer que la cristallisation *in situ*, dans les vases argileuses du Pacifique et de l'océan Indien, d'innombrables petits cristaux de zéolithe, prouve d'une manière incontestable que les énormes pressions auxquelles les microlithes de phillipsite sont soumis, n'empêchent pas leur cristallisation, et qu'elles n'agissait donc pas comme force dissolvante. Mais il y a plus, si l'on tient compte de cette constatation et des faits que nous avons exposés, on en vient à se demander si l'interprétation donnée pour expliquer l'absence de dépôts organiques aux plus grandes profondeurs océaniques est bien vraie. On sait qu'on explique généralement cette absence de restes organiques calcareux et même siliceux, en admettant que ces substances sont dissoutes durant leur chute depuis la surface jusqu'au fond de l'Océan, et que cette dissolution est provoquée en grande partie par la pression. J'ai toujours eu des doutes sur cette interprétation, l'une des plus importantes que nous offrent les phénomènes de la sédimentation marine actuelle, et je me propose de répéter les expériences de M. Spezia en les appliquant d'une manière directe à l'étude du problème que je viens de rappeler.

Digitized by Google

M. le *Président* donne la parole à M. *C. Klement* pour sa communication annoncée à l'ordre du jour :

C. Klement. — Exposé de quelques vues générales sur la formation de gîtes métallifères.

La question relative à la formation des gîtes métallifères est incontestablement un des problèmes géologiques les plus difficiles et les moins résolus, et bien nombreux sont encore les cas où les explications les plus contradictoires ont été données par les divers auteurs sur un seul et même gisement. Je n'ai point l'intention d'exposer ici cette question dans tous ses détails, — ce serait tout un cours à donner, — mais je me propose de choisir parmi les théories émises sous ce rapport, quelques-unes qui me semblent présenter un intérêt un peu plus général. Un travail récent de M. *L. de Launay*, paru dans le tome XII des *Annales des Mines* et intitulé : *Contribution à l'étude des gîtes métallifères*, traite le même sujet d'une manière beaucoup plus générale, tant au point de vue théorique qu'en ce qui concerne l'application de ces théories à de nombreux cas particuliers. J'aurai à revenir plusieurs fois, dans le cours de mon exposé, à cet important travail.

Avant de commencer cet exposé, je dois dire d'abord quelques mots sur la *terminologie* et la *classification* des gîtes métallifères. Cette classification est basée en premier lieu sur la *genèse* de ces gisements et en second lieu sur leur *forme*. Au point de vue génétique, on distingue d'abord si les gîtes métallifères sont *contemporains* ou *postérieurs* aux roches qui les renferment. Dans le premier cas, leur division d'après la nature de ces roches est tout indiquée, et l'on distingue des *gîtes éruptifs* (ou *massifs*) et des *gîtes sédimentaires* (ou *stratifiés*). Dans le second cas, — formation postérieure aux roches encaissantes, — ils se sont déposés dans des creux formés d'une manière ou d'une autre à l'intérieur de roches préexistantes, et on les appelle *gîtes filoniens*. Enfin les gisements tels que nous les voyons actuellement ne se trouvent plus dans leur état primitif, mais ont déjà subi une altération plus ou moins profonde, soit par l'action des eaux météoriques ou par toute autre influence : ce sont les *gîtes métamorphiques*.

Ces quatre catégories de gisements — *éruptifs, sédimentaires, filoniens* et *métamorphiques* — se retrouvent à peu près dans tous les systèmes

Digitized by Google

de classification. Il n'en est plus de même quand il s'agit des subdivisions et de leur nomenclature, qui diffèrent souvent d'auteur à auteur.

Pour les subdivisions, on se base généralement sur la forme des gîtes et l'on parle, selon leur extension plus ou moins inégale suivant les trois directions principales et selon leurs contours plus ou moins réguliers, de gîtes en *amas*, en *nodules*, en *rognons*, en *lentilles*, en *couches*, en *veines*, en *veinules*, etc. D'après leur origine, les différents gîtes métallifères ont une disposition plus ou moins prononcée pour l'une ou pour l'autre de ces formes. Ainsi, par exemple, les gîtes sédimentaires se présentent ordinairement en couches — ce mot indique déjà en lui-même le mode de formation — ou en lentilles; plus rarement ils sont à l'état de rognons ou de nodules, tandis que les gîtes éruptifs affectent de préférence la forme d'amas irréguliers. Quant aux gîtes filoniens, leur forme est naturellement déterminée par celle des creux qu'ils remplissent. Ces creux sont ou des fissures de retrait ou des fentes résultant de la dislocation des terrains et affectant souvent tout un système de couches, d'âge et de composition différents. Dans ce cas, les gîtes métallifères y déposés ont généralement la forme de grosses lames très étendues et d'ordinaire plus ou moins redressées : *filons* proprement dits. Les fentes qui renferment les filons peuvent dans certains cas coïncider avec le plan de séparation de deux strates successives; il en résulte alors ce qu'on appelle des *filons-couches*. Si les fissures remplies de matières métallifères sont, au contraire, de petites dimensions, étendues surtout dans une seule direction, on parle de *veines* ou de *veinules*. Les filons métallifères ne sont presque jamais isolés; ils se concentrent habituellement dans certaines régions et forment souvent toute une série enchevêtrée de cassures; on appelle *stockwerk* un grand nombre de veines ramifiées, formant un réseau irrégulier dans un massif. Outre les fissures de retrait et de dislocation, les creux qui renferment les gîtes filoniens peuvent encore dériver de la dissolution d'une partie plus ou moins considérable du terrain encaissant, comme c'est le cas, par exemple, en grand, pour les cavernes des roches calcaires. Dans ce cas, les gîtes y formés ont en général des formes fort irrégulières, le plus souvent sans dimension prépondérante, et on les désigne sous le nom de *poches* ou de *pochettes*.

En ce qui concerne enfin les gîtes métamorphiques, ils présenteront des formes très variées selon l'origine éruptive, sédimentaire ou filonienne des gisements originaux dont ils dérivent.

Tels sont les principaux types d'origine et de forme des gîtes métal-

Digitized by Google

lifères. Mais il existe, en outre, un certain nombre de formes intermédiaires entre ces divers types, de sorte qu'en pratique il n'est pas toujours facile de classer avec certitude un gisement donné. Ces difficultés de classement sont encore augmentées par le fait que des actions secondaires peuvent avoir altéré ou effacé les caractères d'abord bien marqués de ces gîtes.

Si nous nous demandons maintenant d'où proviennent les métaux renfermés dans les gîtes métallifères, on peut dire d'une manière générale que, d'après les idées de géogénie admises aujourd'hui, ces métaux ont leur point de départ dans les profondeurs de la terre, d'où ils ont été amenés, à un moment donné, vers les points superficiels où nous les trouvons aujourd'hui, soit que cette amenée se soit faite directement vers leurs gîtes actuels, soit qu'ils y aient été concentrés par un remaniement postérieur après avoir été répartis préalablement en d'autres endroits de la surface. Nous allons maintenant examiner de quelle manière cette amenée peut s'opérer pour les divers types de gisements.

En ce qui concerne les gîtes éruptifs, il est évident que les métaux y contenus sont venus à la surface avec les roches encaissantes mêmes, lors de leur éruption à l'état d'un magma en fusion. Il est un fait bien connu que toutes ces roches éruptives renferment, outre les traces de métaux lourds contenus dans leurs éléments essentiels, de petites quantités de minerais, c'est-à-dire de minéraux composés principalement de métaux utiles. Je ne citerai, comme exemples sous ce rapport, que la magnétite, l'oligiste, l'ilménite, le spinelle, la picotite, la pyrite, etc., qui sont tous très répandus un peu partout, la cassitérite qui se trouve comme élément primaire dans certains granits, la pyrrhotine ordinairement nickelifère des gabbros et péridotites, le fer métallique de certains basaltes, l'or des roches granitiques et trachytiques, le platine de certaines péridotites, etc.

Mais ces minerais s'y trouvent, d'une manière générale, en quantités trop peu considérables pour permettre une extraction technique, sauf le cas des métaux précieux, comme l'or et le platine.

Dans certains cas particuliers, il se peut cependant que la quantité de minerai *réparti dans toute la masse de la roche* soit assez grande pour permettre une utilisation, surtout quand la roche est plus ou moins altérée et rendue plus friable de cette manière. Ainsi, par exemple, on extrait, d'après M. Sevoz, dans le district de Sisso, province de Harima, au Japon, une magnétite titanifère, répartie en tout petits grains dans un granite altéré, et cette extraction se fait par

Digitized by Google

simple lavage. Ce sont ces sortes de gîtes que M. de Launay appelle les *gîtes d'inclusion*.

Mais il se peut que les minerais renfermés dans une roche éruptive se soient accumulés, d'une manière ou d'une autre, à un endroit déterminé, soit dans les parties centrales de cette roche, soit à sa périphérie, de façon à y former un amas considérable et exploitable : *gîtes de ségrégation et de départ* de M. de Launay.

De quelle manière des amas de cette nature peuvent se former à l'intérieur d'un magma en fusion, j'ai l'intention de l'exposer à une prochaine occasion.

Quant aux gîtes sédimentaires, ils forment évidemment un des termes de la série géologique de leur époque, c'est-à-dire qu'ils sont plus anciens que les couches d'au-dessus et plus récents que celles d'au-dessous. Les métaux qu'on y trouve ont donc fait partie, à un moment donné, des matériaux qui ont servi à la formation des strates successives, et l'étude géologique de ces strates fournira en même temps l'histoire des gîtes métallifères y contenus, qui proviendront, d'une manière générale, de la destruction de terrains préexistants.

En ce qui concerne enfin les gîtes filoniens, c'est-à-dire ceux qui se sont formés postérieurement aux roches encaissantes par remplissage de creux y existants, leur formation est plus difficile à établir et sa recherche a donné lieu à des hypothèses multiples. *A priori*, on peut dire que le remplissage de fentes peut s'opérer de trois manières différentes : 1° par *injection* directe; 2° par *sublimation ou pneumatolyse* et 3° par *infiltration aqueuse*.

Le premier cas ne semble guère être réalisé. Des roches éruptives injectées dans des fentes renferment souvent, sans doute, des substances métallifères, et celles-ci peuvent s'accumuler à certains endroits du filon, mais ce cas rentre évidemment dans notre première catégorie : les gîtes éruptifs. L'injection de minerais seuls dans une fente ne pourrait être qu'un cas tout à fait exceptionnel.

Le second cas de remplissage de filons, celui s'opérant par voie de sublimation, rappelle ce que nous observons encore actuellement dans les émanations volcaniques.

Les gaz et vapeurs dont on a constaté la présence dans les fumerolles sont, outre la vapeur d'eau, principalement les suivants : acide chlorhydrique et chlorures, acide fluorhydrique et fluorures, hydrogène sulfuré, acide sulfureux, sulfates, acide carbonique et carbonates, hydrocarbures, acide borique, etc.

Par analogie, on a supposé que d'autres sels encore, oxydes ou sulfures

Digitized by Google

métalliques, à points de sublimation relativement bas, peuvent se déposer dans les fentes et fissures accessibles aux émanations volcaniques. Ce mode de formation est admis, par exemple, par la plupart des géologues, pour les filons d'étain de certains granites (et autres roches acides).

D'après une théorie déjà ancienne, émise par E. de Beaumont et par Daubrée, on croit que ces filons ont été formés par des émanations acides qui ont suivi l'éruption du granite, et dont l'action s'est fait encore sentir par une métamorphose de cette roche même en greisen (hyalomicte), avec topazosème, tourmalinite et autres modifications analogues. Les minéraux qui accompagnent le minerai d'étain, la cassitérite, sont surtout caractérisés par leur teneur en fluor et en acide borique, substances très répandues dans les fumerolles.

Le troisième mode de remplissage de filons est, comme nous l'avons dit, celui par voie de dissolutions aqueuses. Les métaux de ces filons peuvent être amenés directement des profondeurs du globe par des sources minérales, surtout thermales, phénomène qu'on peut appeler *infiltration ascensionnelle*, et dont les geysers nous offrent un cas particulier. Dans les dépôts de ces sources, on peut constater souvent la présence de petites quantités de métaux de toutes sortes. Ainsi, par exemple, les incrustations des célèbres thermes de Karlsbad, le *Sprudelstein*, renferment des traces de fer, de manganèse, de zinc, d'arsenic, d'antimoine et d'autres métaux. Les dépôts geysériens sont souvent aurifères, comme ceux de la Mount Morgan Mine, au Queensland; dans d'autres, au Steamboat-Valley au Névada, par exemple, on a trouvé, outre l'or, encore de l'argent, du mercure et du plomb. Ni l'or ni le mercure ne peut provenir, dans le cas cité, des roches traversées par les geysers, puisque ces roches, des granites plus ou moins altérés, ne renferment pas de traces de ces métaux; ceux-ci doivent donc bien avoir leur origine dans les profondeurs. D'un autre côté, on peut souvent constater une relation intime entre des filons métallifères et des sources thermales, comme c'est le cas, par exemple, dans la région de Plombières, en Bohême, en Californie et ailleurs, et il n'y a pas de doute que ce sont, en effet, bien souvent, les sources minérales qui ont déposé les métaux dans les filons. Mais on avait un peu abusé, surtout au commencement des études géologiques, de l'intervention de cette action hydrothermale pour expliquer les phénomènes les plus divers, et une forte réaction s'est faite contre cette manière de voir. Sous l'influence de cette réaction, une nouvelle théorie a pris naissance, qui admet que les minerais des filons métallifères sont simplement le

Digitized by Google

produit d'un lessivage des roches encaissantes par les eaux d'infiltration. C'est la fameuse théorie de la *sécrétion latérale*, qui a été développée surtout par M. *Sandberger* et ses élèves, et que M. de Launay qualifie de théorie de l'école allemande, quoiqu'il y ait loin qu'elle soit unanimement admise en Allemagne. J'y reviendrai plus longuement à une prochaine séance.

M. *Jottrand* prend ensuite la parole pour présenter à la Société une *série de végétaux fossiles récemment recueillis au Spitzberg*.

Trois jeunes Bruxellois, MM. A. Wendelen, V. Péchère et L. Jottrand, ont passé, l'été dernier, au Spitzberg les quelques jours pendant lesquels ces régions glacées sont en communication assurée avec la Norwège, ils en ont rapporté des échantillons de végétaux fossiles, que j'ai l'honneur de vous exhiber.

Ce sont d'abord des fragments d'une houille très légère que l'on trouve en abondance sur la plage de l'*Advent Bay*, où l'on a établi la hutte en planches qui sert d'hôtel aux quelques touristes à qui le soleil de minuit ne suffit pas et qui veulent absolument connaître des jours sans nuit. Cette houille provient d'une veine assez puissante, qui parcourt comme un long ruban noir la falaise grisâtre formant la côte. Cette houille est très légère et ressemble à du lignite.

Viennent ensuite de nombreuses plaques du schiste friable de cette région et qui paraissent pétries de feuilles d'arbres superposées, dont il ne reste plus que l'empreinte. On croirait voir un de ces amas pressés de feuilles mortes que le vent d'automne entasse au fond des mares au milieu des bois. Ces restes datent d'une époque géologique où le Spitzberg jouissait d'une végétation semblable à celle de la Belgique actuelle : hêtres, noisetiers, tilleuls et érables de toute sorte, qui sans doute a été quelque peu postérieure à celle où les palmiers nipas poussaient sur le territoire actuel de Bruxelles.

Les huit expéditions scientifiques dirigées par Nordenskiold aux frais du Gouvernement suédois de 1858 à 1892 ont fourni de nombreux détails sur les différents gîtes charbonniers et fossilifères du Spitzberg; *Rabot* les a bien résumés dans le récit de l'expédition de *La Manche* organisée par le Gouvernement français en 1892. (Voir le *Tour du Monde*, 1893, vol. II.) Le gîte d'où viennent les échantillons exhibés aujourd'hui est de l'époque tertiaire miocène. D'autres gîtes remontent jusqu'à l'époque jurassique.

Des gîtes charbonniers importants ont été rencontrés également dans les régions polaires, entre autres sur la côte occidentale du

Digitized by Google

Groenland et au nord de la terre de Grant, mais les steamers les dédaignent comme de qualité inférieure.

L'assemblée accueille avec grand intérêt la communication des végétaux fossiles du Spitzberg et examine les empreintes végétales, qui se détachent très nettement sur un schiste gris verdâtre.

M. *Cumont* dépose un *pli cacheté* à ouvrir lorsqu'il en fera la demande.

M. le *Secrétaire* résume un mémoire de M. l'ingénieur *L. Losseau*, dont le texte suit :

L. Losseau. — Recherches sur la gélivité des matériaux de construction.

Il y a quelques mois, à la demande de mon ami Van Bogaert, j'ai fait quelques essais relatifs à la résistance à la gelée de certains matériaux de construction.

Le problème à résoudre était celui-ci :

« De diverses briques émaillées, quelles sont les moins gélives? »

Il fallait donc déterminer un mode d'essai, puis essayer les divers échantillons.

Je croyais alors que le bris des pierres était dû à l'augmentation de volume de l'eau contenue dans les pores, augmentation provenant de la congélation.

Il fallait donc produire cette congélation.

Je possédais une source de froid assez considérable : c'était un courant d'eau glycérineuse provenant d'une machine frigorifique et refroidie à 10° sous zéro.

Je déterminai d'abord le temps nécessaire pour que le froid pénétrât jusqu'au centre des pierres soumises à l'examen; pour cela, je pris un bloc de pierre de 10 centimètres de côté, je fis forer au centre un trou de 1 centimètre de large et 7 centimètres de profondeur, je remplis le trou de glycérine concentrée à la température ordinaire, je plongeai dans la glycérine un thermomètre, je plaçai le bloc dans un bassin où circulait un courant d'eau glycérineuse à — 10°, de façon que le niveau de l'eau glycérineuse restât à 1 centimètre au-dessous du niveau supérieur de la pierre.

Je relevai toutes les quinze minutes la température au thermomètre.

Digitized by Google

La moyenne des essais faits, sur le petit granite, la pierre blanche, une brique réfractaire, a donné après :

0 minute :	température intérieure de la pierre			+ 17° ;	eau extérieure	— 10°
15 minutes	»	»		0°	»	— 10°
30 »	»	»		— 5°	»	— 10°
45 »	»	»		— 6°	»	— 10°
60 »	»	»		— 7°	»	— 10°
75 »	»	»		— 8°	»	— 10°
90 »	»	»		— 9° 1/2	»	— 10°

Pour reprendre la température ambiante, il ne fallait que quinze minutes.

On peut donc dire que le froid doit agir au moins une heure pour la congélation, et la chaleur un quart d'heure pour le réchauffement.

Comme je l'ai déjà dit, croyant la gélivité due à la congélation de l'eau, je pensais qu'il fallait produire la congélation sur des matériaux humides.

Je fis construire un tonneau de 75 centimètres de haut sur 60 de large, avec une prise d'eau froide en bas et un trop-plein en haut.

Au centre je mis un bac en zinc de 25 centimètres de côté sur 80 de haut, je le remplis d'eau et plaçai en son centre un tube rempli de glycérine concentrée, avec un thermomètre.

Il me fallut quatorze à quinze heures pour avoir au centre la température de — 10°, qui était celle de l'eau glycérineuse enveloppante.

L'essai après enlèvement de l'eau, donc dans l'air (j'avais mis un couvercle avec feutre, afin d'éviter l'action de la température sur le haut), donna comme temps les mêmes résultats.

L'air et la glace sont en effet de mauvais conducteurs; la glace forme assez rapidement une mince couche contre la paroi du zinc, et cette couche protège le reste contre le refroidissement.

Je fis quelques essais sur des briques que M. Van Bogaert croyait mauvaises, et en effet dans l'air et dans l'eau j'eus des bris.

L'ennui de ces expériences est le temps extraordinairement long qui est nécessaire pour un essai, car on ne peut se prononcer qu'après vingt congélations au moins, et chacune d'elles demande un jour; c'était donc peu pratique.

J'essayai alors d'enrober les briques dans de la paraffine fondue et de les plonger directement dans l'eau glycérineuse; chaque essai n'aurait plus demandé qu'une couple d'heures.

Seulement, pour que la paraffine collât aux briques, il fallait les dessécher. Je constatai alors que les briques se brisaient, même quand elles étaient desséchées.

Digitized by Google

L'explication des bris n'était donc pas bonne.

Je desséchai des briques par l'action d'une température de 150° pendant trois jours, puis je les plongeai (après refroidissement) directement dans l'eau glycérineuse incongelable : ces briques éclatèrent. La congélation de l'eau d'imbibition n'a donc rien à voir à la gélivité. Pour moi, on doit attribuer l'éclatement à des dilatations et contractions inégales.

Partant de ces connaissances, j'ai essayé les diverses briques, soumises par M. Van Bogaert, de la façon suivante :

Je les plongeai toutes dans le courant d'eau glycérineuse à — 10°, pendant une heure, puis je remplaçai l'eau glycérineuse par de l'eau ordinaire à 30° pendant une seconde heure, et ainsi de suite.

Voici les résultats obtenus :

Briques de fabrication allemande et anglaise à grain très fin ; sur dix briques, après vingt-deux congélations, aucune rupture.

Briques de provenance belge, grain grossier, peu homogène :

Sur 81 briques,	après	7	congélations,	20	ont éclaté;		
»	»	»	16	»	7	nouvelles ont éclaté;	
»	»	»	22	»	23	»	»

En résumé, 50 briques ont éclaté, 31 ont résisté.

L'éclatement n'est pas limité à l'émail, mais la brique entière éclate en morceaux.

Les conclusions à tirer de ces essais sont :

1° *Qu'il faut au moins 20 congélations successives ;*

2° *Pour les briques émaillées, l'éclatement n'est pas dû à l'augmentation de volume de l'eau d'imbibition, mais bien à des dilatations et contractions successives inégales.*

L'essai consiste simplement à plonger pendant une heure les briques dans l'eau glycérineuse à — 10°, puis dans l'eau à la température ordinaire, et cela vingt fois de suite.

J'avais projeté, avec mon ami M. Van Bogaert, d'étudier successivement tous les matériaux de construction belges; un changement de position m'empêche de faire ce travail, qui sera continué, j'espère, par un autre membre de la Société.

N. B. M. Van Bogaert vient de m'informer qu'il a continué à faire les essais sur de fortes quantités de briques (4 à 500) en suivant la méthode que je lui avais indiquée précédemment. Les résultats sont, paraît-il, concordants, et l'État belge vient de l'insérer dans son cahier de charges.

La séance est levée à 10 h. 30.

Digitized by Google

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ANNUELLE DE CLOTURE DE L'EXERCICE 1897

TENUE, PAR DÉCISION SPÉCIALE, LE 17 FÉVRIER 1898.

Présidence de M. **A. Renard**, *Président.*

La séance est ouverte à 8 h. 30.

Le procès-verbal de l'Assemblée générale du 17 février 1897 est adopté.

Correspondance :

MM. *J. Cornet, C. Klement, Ch. Lahaye, M. Mourlon* et *Polis* font excuser leur absence.

M. *Imbeaux*, ingénieur-directeur du Service municipal de la ville de Nancy, ayant, sur l'invitation de MM. Kemna et Van den Broeck, dressé un projet de programme d'excursion en Lorraine et dans les Vosges, adresse ce programme à la Société.

M. le baron *de Lafontaine* adresse un projet d'excursion aux environs de Dolhain et principalement relatif à l'étude des matériaux de construction de cette région.

La famille de M. *J. Baillon*, membre effectif de la Société, annonce la douloureuse nouvelle de la mort de notre regretté collègue. L'envoi d'une lettre de condoléance est voté par l'Assemblée.

M. *E.-A. Martel* annonce qu'il donnera au mois d'avril ou mai une ou deux conférences avec projections sur des sujets spéléologiques.

M. *de Dorlodot* se met à la disposition de la Société pour l'exécution du programme de l'excursion dans le Calcaire carbonifère, précédemment proposée et remise à 1898.

Digitized by Google

Discours du Président :

MESSIEURS,

Nous avons l'honneur de venir vous rendre compte de la situation de notre Société et des travaux accomplis pendant l'année 1897.

La progression du nombre de nos membres continue à s'accentuer : soixante noms nouveaux ont été inscrits sur nos listes durant l'année qui vient de s'écouler, dont quarante-six membres effectifs, un membre honoraire, onze associés regnicoles et deux associés étrangers. Par contre, nous avons perdu vingt-deux membres effectifs, dont dix par décès et douze par démission; il reste donc, en fin de compte, une augmentation de trente-sept membres effectifs et associés : magnifique résultat et bien fait pour nous encourager.

Nous commençons l'année 1898 avec un total de trois cent dix-neuf membres effectifs, un membre protecteur, quarante-trois membres honoraires, cinquante-deux associés regnicoles et vingt-deux associés étrangers, soit en tout quatre cent trente-sept noms.

En considérant l'importance de cet accroissement, le Conseil a décidé de rayer définitivement de nos listes dix-neuf membres étrangers et un associé regnicole, depuis longtemps en défaut de paiement de cotisation, ou dont nous n'avons plus reçu de nouvelles. Cette mesure déterminera une légère dépression dans le chiffre de progression annuelle, mais c'est là un mal nécessaire, car cette situation irrégulière, si elle se prolongeait, amènerait forcément à fausser l'état des rentrées et, par suite, les budgets. Il nous reste, dans ces conditions, trois cents membres effectifs et cinquante et un associés regnicoles, soit plus de trois cent cinquante membres payant régulièrement leur cotisation annuelle.

D'après les Statuts, nos *associés étrangers* ne doivent recevoir que les *Procès-Verbaux*. Pour obtenir le *Bulletin* au complet, c'est-à-dire comprenant les *Mémoires*, ils ont à nous envoyer le minimum de cotisation annuelle, soit 5 francs.

Il s'est fait que, par suite de la non-application stricte de l'article 21 des Statuts, un certain nombre de nos associés étrangers ont reçu le *Bulletin* et se trouvent ainsi jouir des prérogatives que l'on avait en vue de réserver aux membres honoraires seulement.

Le Conseil a décidé, vu le nombre minime de volumes que le tirage du *Bulletin* permet d'attribuer gratuitement, que la règle primitive sera

Digitized by Google

strictement appliquée à l'avenir. Les membres associés étrangers qui, recevant les *Procès-Verbaux* des séances, désireront se voir continuer à l'avenir le service des *Mémoires*, et recevoir ainsi le *Bulletin* au complet, devront payer une *cotisation annuelle* de 5 francs, payable, s'ils le désirent, bisannuellement par 10 francs, ou de toute autre manière équivalente.

Seuls les associés étrangers qui, se référant aux conditions de *collaboration au Bulletin* énoncées par l'article 21 des Statuts, nous enverront des travaux originaux pour nos *Mémoires*, seront dispensés de cette cotisation.

Ainsi que vous l'expose le rapport du Trésorier, notre situation financière est satisfaisante, et nous avons, dans une caisse spéciale, une partie de fonds disponibles pour publier la suite, si impatiemment attendue, du travail de M. *Lancaster* sur la pluie en Belgique.

Onze sociétés nouvelles ont accepté l'échange de leurs publications contre les nôtres.

Notre bibliothèque est maintenant installée dans les bâtiments du Service géologique, rue Latérale; la situation centrale de ce local le rend facilement accessible à tous nos membres; et l'achèvement prochain du catalogue, auquel notre bibliothécaire, M. *Devaivre*, travaille activement, viendra aussi simplifier leurs recherches. A la date de ce jour, le catalogue sur fiches et par noms d'auteurs, relatif aux livres et brochures (autres que les périodiques), comprend plus de 1,100 fiches, c'est-à-dire à peu près la moitié des numéros de cette série.

Le Conseil a pu consacrer, à partir de cette année, une certaine somme au brochage et à la reliure d'une partie de nos périodiques.

Les démarches que nous comptons faire, de commun accord avec M. *Mourlon*, nous permettent d'espérer que nous obtiendrons pour nos membres l'accès de la bibliothèque *le soir*, au moins une fois par mois; cette mesure permettra à nos confrères d'examiner dans de meilleures conditions qu'ils ne peuvent le faire aujourd'hui, les riches et nombreuses publications que la Société reçoit chaque mois; en outre, elle établira sans aucun doute des liens encore plus intimes entre tous nos membres.

Nos publications ont éprouvé, en 1897, des retards certes fort regrettables en eux-mêmes, mais dont nous ne devons nullement déplorer la cause, bien au contraire, car ils sont dus uniquement à l'*organisation de la Section des Sciences à l'Exposition universelle de Bruxelles*, innovation due à l'initiative de notre Secrétaire, M. *Van den Broeck*. Les fonctions de Présidents, de Vice-Présidents et de Secré-

Digitized by Google

taires de Classes dans la Section des sciences, confiées à de nombreux membres de notre Société, et celles de Secrétaire de la Section qu'a remplie M. *Van den Broeck* ont fait tort à l'apport habituel des collaborateurs ordinaires de notre *Bulletin*. Les fonctions que remplissait notre Secrétaire général, auquel incombe toute la charge de la publication de nos travaux, l'ont également empêché de mener à bien en même temps deux tâches aussi absorbantes. Maintenant que les opérations de la Section sont terminées, nos publications vont reprendre une marche normale, et déjà dans le courant de février, deux importants fascicules avec planches, l'un de 1896, l'autre de 1897, seront distribués.

Le Conseil, d'accord avec le Comité de revision des Statuts, a préparé une nouvelle rédaction de ceux-ci. Elle vous a été soumise en épreuves et vous aurez, Messieurs, à la discuter tout à l'heure.

Parmi les principaux travaux que nous avons publiés en 1897, ou qui sont sous presse en ce moment, bornons-nous à citer les études de M. *Rutot* sur la côte belge et notamment sur le Flandrien; la monographie des Echinides de la craie de Ciply par M. *Lambert;* les travaux de M. *Van Bogaert* sur les épreuves et les études faites en Suisse et en Italie relativement aux ardoises et aux matériaux de construction; des communications de M. *Renard* sur l'enseignement supérieur de la géographie dans ses rapports avec la géologie, sur les météorites et sur divers sujets relatifs à des mineraux du pays et à des questions de géologie théorique; les travaux de M. *Van Mierlo* sur les marées quaternaires en Belgique; de M. *Cornet* sur la géologie du Congo occidental; de M. *Flamache* et de MM. *Lang* et *Stainier* sur le mode de formation des cavernes; une note sur le pétrole et une autre sur la diallage, dues toutes deux à M. *Klement*.

En outre, nous avons reproduit le texte du travail de M. *Renevier :* le *Chronographe géologique*.

Des dons nombreux et importants sont venus enrichir nos collections : nous avons reçu de MM. *Toutkowsky* et *Trutat* une série de magnifiques photographies représentant des phénomènes géologiques caractéristiques. Une collection considérable de photographies consacrées au même sujet nous a été offerte généreusement par l'*United States geological Survey*.

Le Service de géologie de Russie a bien voulu nous présenter la belle collection de ses publications. Vous avez pu, Messieurs, admirer tous ces objets à la Section des sciences à l'Exposition. Enfin, M. *Carez* nous a offert la série complète de son *Annuaire géologique*.

Digitized by Google

Nous croyons être vos interprètes en exprimant aux généreux donateurs les vifs remerciements de la Société.

La Société peut se féliciter de sa participation à l'Exposition universelle de Bruxelles, qui a dépassé toute attente. L'exposition organisée par sa collectivité dans la Section des sciences, et à laquelle un grand nombre de nos membres ont pris part, présentait un vif intérêt scientifique. Non moins intéressante, spécialement au point de vue industriel, était l'exposition de matériaux de construction, due à une autre collectivité de nos membres, et à laquelle participaient de nombreux exposants.

Nous avons le droit de nous montrer très satisfaits aussi d'un autre succès obtenu durant la même année, et dont les résultats ne peuvent manquer d'être féconds; en effet, l'idée que nous avions émise d'établir un *Musée permanent de matériaux belges* a reçu dans le public l'accueil le plus favorable, et a été adoptée en principe par M. le Ministre de l'Agriculture et des Travaux publics, qui nous a promis de nommer, au sein de notre Société, des délégués chargés de la partie scientifique de l'organisation de ce musée, aussitôt que les arrangements matériels de local et d'installation auront été réglés par son département.

La Société a été aussi l'initiatrice de la confection des programmes de classes qui ont été si utiles dans l'organisation de l'exposition.

Le Conseil a décidé la publication dans notre *Bulletin* du catalogue détaillé de la Classe 83 (Géologie) à la Section des sciences de l'Exposition, catalogue rédigé par M. *Rutot*, secrétaire de la dite classe, et dont le Gouvernement, faute de fonds disponibles, n'a pu se charger d'ordonner la publication, non plus que celle des catalogues des autres classes de la Section. Ce travail de M. *Rutot* sera le complément tout indiqué de la notice rétrospective que M. *Van den Broeck* nous a promise sur le rôle de la Société et de ses membres dans l'organisation de la Section des Sciences à l'Exposition.

Quoique les travaux auxquels plusieurs de nos confrères se sont livrés pour l'Exposition les aient empêchés de consacrer à la Société elle-même toute leur activité habituelle, les résultats obtenus sont cependant fort satisfaisants : nous avons eu, en 1897, douze séances dont trois d'application, et une séance spéciale à l'Exposition. Les membres de la Société ont donné, en outre, à l'Exposition, de nombreuses conférences, et visité en corps les collections exposées. Notre confrère, M. le professeur *Golliez*, de Lausanne, a bien voulu, lors de sa visite à l'Exposition, accéder à notre prière de donner une conférence sur la formation des montagnes. Nous avons eu aussi une séance

Digitized by Google

consacrée spécialement à la seconde conférence de M. *Bertrand* sur les charbons de terre. La Section des matériaux de construction a tenu trois séances dans lesquelles M. *Van Bogaert* nous a fait d'intéressantes communications. Un programme complémentaire d'études sur les *matériaux anciens* a également été élaboré par les soins de MM. *Combaz*, *de Loë* et *Rabozée*.

L'assemblée extraordinaire du 17 février fut consacrée à la célébration du *premier décennaire* de la fondation de la Société, et l'un de nos confrères, M. *Hans*, a eu l'heureuse idée, à cette occasion, de publier une notice résumant et analysant les travaux de la Société pendant la première période de son existence. La somme des travaux produits est très considérable, et rares sont les sociétés qui peuvent inscrire à leur actif un résultat semblable au bout de si peu d'années; le travail de M. *Hans* a été une réponse péremptoire à ceux qui se demandent encore parfois *à quoi peut servir une Société géologique*.

Nous ne pouvons passer sous silence le banquet si éminemment cordial qui a réuni un grand nombre d'entre nous à l'occasion de cet anniversaire.

Enfin les fêtes ont été complétées par une conférence de M. *Rutot*, avec projections lumineuses, résumant les principales excursions de la Société, et par une première conférence de M. *Renard* sur les fondateurs de la minéralogie.

La session extraordinaire annuelle a eu lieu en Ardenne, sous la direction de M. *Gosselet;* elle a présenté un vif intérêt par l'exposé contradictoire de vues auquel elle a donné lieu. Les discussions sur le terrain se sont constamment concentrées sur deux points fondamentaux des doctrines géologiques : la reconstitution des limites des mers paléozoïques et l'application des théories du métamorphisme de contact ou du métamorphisme dynamique à l'interprétation des phénomènes si remarquables de structure et de composition minéralogique des terrains cambrien et devonien que nous avons étudiés. Je ne veux pas m'étendre sur ce point, le compte rendu de l'excursion, dont a bien voulu se charger M. *Dormal*, vous retracera, j'en suis certain, tous les faits essentiels de cette instructive course en Ardenne. Ajoutons qu'elle fut parfaitement organisée au point de vue scientifique par M. *Gosselet* et au point de vue matériel par MM. *Dormal* et *Jottrand*. Aussi est-ce un devoir pour nous de remercier ici, au nom de la Société, les trois confrères de leur dévoué concours.

Nous avons fait à Anvers une excursion conduite par M. *Van Bogaert*, et dont le but était l'étude et l'emploi des matériaux de construction

Digitized by Google

belges, mis en œuvre à la nouvelle gare en construction dans cette ville.

Plusieurs de nos confrères ont été l'objet de distinctions flatteuses durant l'année qui vient de finir. MM. *De Thy*, *Seulen*, *Slaghmuylder*, *Petermann*, *Dufourny*, *Lechien*, *Van Ysendyck* et *Crespin* ont reçu une nomination ou une promotion dans l'Ordre de Léopold. A la suite de la part brillante qu'ils ont prise à l'organisation de l'Exposition, MM. *Van Overloop*, commissaire du Gouvernement près de la Section; *Gérard* et *Jacques*, secrétaires de classes, ont été nommés Chevaliers du même Ordre, et MM. *Lancaster* et *J. Cornet* ont reçu le ruban de la Couronne du Congo. D'autres nominations, dont quelques-unes sont déjà annoncées, seront faites prochainement dans divers ordres étrangers en faveur de plusieurs autres de nos confrères (1).

Rappelons, en outre, que M. *Gosselet* a obtenu de l'Académie des sciences le prix Dormoy (10,000 francs), et que M. *Dollo* a été nommé docteur *honoris causa* de l'Université d'Utrecht.

Enfin l'Académie royale a nommé M. *Lancaster* membre titulaire, et M. *de Lapparent* membre correspondant. M. *Klement* a été nommé conservateur au Musée d'histoire naturelle, M. *J. Cornet* professeur de géologie à l'École des mines de Mons, et M. *J. De Windt* géologue et commandant en second de l'expédition Lemaire, au Katanga.

Au nom de la Société, nous présentons à ces confrères nos félicitations les plus chaleureuses.

Ici, Messieurs, payons un juste tribut de regrets à ceux que la mort nous a ravis cette année.

C'est avec une profonde tristesse que nous enregistrons la mort du professeur *E. D. Cope*, l'éminent paléontologiste américain. *Cope* était né à Philadelphie en 1840; après avoir passé par l'Université de Pensylvanie, il vint en Europe pour se livrer à l'étude de l'anatomie en 1863. Dès l'année suivante, il fut appelé à la chaire de sciences naturelles à Haverford College, à Philadelphie, et pendant quelques années il remplit le poste de conservateur et de secrétaire de l'Aca-

(1) Ces distinctions ont été complétées ultérieurement par celles qui suivent et que le retard de publication du présent Rapport nous permet de renseigner ici.

M. *E. Van den Broeck*, secrétaire de la Section des sciences, a été nommé Chevalier de la Légion d'Honneur: MM. *A. Rutot* et *E. Bayet*, dont le premier était Secrétaire de la classe de géologie, ont été nommés Chevaliers de l'Ordre des Saints Maurice et Lazare; M. le baron *A. de Loë*, secrétaire adjoint de la Section des sciences, Chevalier de l'Ordre de la Couronne de fer d'Autriche, et M. *Ed. de Pierpont*, secrétaire de la classe d'anthropologie, Chevalier de l'Ordre de Charles III, d'Espagne.

Digitized by Google

démie des sciences de cette ville. Vers la fin de sa vie, il était professeur de géologie et de paléontologie à l'Université de Pensylvanie. Depuis 1871 et jusqu'en 1877, il poursuivit l'exploration des couches crétacées du Kansas, de l'Éocène du Wyoming et des couches tertiaires du Colorado. En 1874, il fit partie du Service géologique du Nouveau-Mexique; de celui de North Montana en 1875 et de celui de l'Orégon et du Texas en 1877.

Il avait réuni une collection de plus de mille espèces fossiles de Vertébrés, et il a fait connaître au moins six cents espèces nouvelles pour la science. Le nombre de ses écrits est considérable; ils furent publiés dans les Bulletins des sociétés scientifiques de Pensylvanie, dans les Rapports du Service géologique des États-Unis et des Services géologiques de Hayden et de Wheeler, ainsi que dans l'*American Naturalist*, dont il était un des rédacteurs. Beaucoup de ses écrits sont consacrés à la théorie de l'évolution, dont il fut un ardent promoteur. La Société géologique de Londres lui accorda en 1879 la médaille d'or de Bigsby, pour reconnaître le talent dont il avait fait preuve en enrichissant l'anatomie comparée et la paléontologie de ses nombreuses découvertes. Notre Société l'avait, dès sa fondation, en 1887, admis parmi ses membres honoraires.

Signalons aussi avec regret la perte d'un autre de nos membres honoraires : le savant naturaliste hollandais *Winckler*, dont l'influence scientifique fut considérable dans son pays.

Parmi les noms de nos membres effectifs que la mort a rayés de nos listes, il en est un que je dois surtout vous rappeler : je veux parler de *Ferd. Béclard*, qui prêta pendant plusieurs années un concours actif et dévoué à la Société. Il accepta la charge de la gestion de nos finances, et il s'en acquitta avec le zèle et le soin qui le distinguaient; il enrichit nos publications de travaux parmi lesquels il faut spécialement citer son excellent mémoire paléontologique et stratigraphique ayant pour titre : *les Spirifères du Coblencien belge*, fruit d'un long et aride labeur, qu'il a pu mener à bonne fin, grâce aux riches matériaux accumulés au Musée d'histoire naturelle.

Rappelons encore parmi ceux que la Société a perdus : MM. *Dubois*, *Fagès*, *Lundgren*, *Dumesnil*, *Ulens*, *Vogelaere* et *Baillon*.

Vous me saurez gré d'abréger afin de vous permettre d'aborder les autres points du programme très chargé de cette séance; mais permettez-moi d'ajouter un mot encore. Bien que la situation qui ressort de ce que je viens de dire puisse à bon droit être considérée comme très satisfaisante, nous croyons qu'il vaut mieux ne pas s'en contenter, et

Digitized by Google

nous engageons tous les membres de notre Société à travailler plus activement que jamais à sa prospérité; qu'ils la fassent connaître et qu'il nous amènent de nouveaux adhérents.

Fixation des jours et heures des séances mensuelles et des séances d'application :

Aucune modification n'est apportée aux décisions des précédentes assemblées générales. Les séances mensuelles auront donc lieu, comme antérieurement, le dernier mardi de chaque mois, sauf pendant les vacances d'août et septembre.

Des séances d'application peuvent avoir lieu à des dates qui seront fixées par le Bureau.

TABLEAU INDICATIF DES JOURS ET HEURES DES SÉANCES.

Année 1898.

Janvier, Jeudi 27, à 8 ½ h.
Février, Mercredi 17, à 8 ½ h.
(Assemblée générale annuelle.)
Mars, Mardi 1er, à 8 ½ h.
Mars, Mardi 29, à 8 ½ h
Avril, Mardi 26, à 8 ½ h.
Mai, Mardi 31, à 8 ½ h.
Juin, Mardi 28, à 8 ½ h.
Juillet, Mardi 26, à 8 ½ h.
Août, Vacances.
Septembre, Vacances.
Octobre, Mardi 25, à 8 ½ h.
Novembre, Mardi 29, à 8 ½ h.
Décembre, Mardi 27, à 8 ½ h.
(Assemblée générale annuelle.)

NOTA. — Les séances auront lieu à l'*Université libre* (entrée par la *rue des Sols*) et commenceront à 8 ½ heures précises.

Des séances supplémentaires d'applications géologiques et hydrologiques, des conférences et causeries, avec projections, auront lieu à des époques variables, qui seront indiquées lors de l'envoi des convocations mensuelles.

Fixation du chiffre de la cotisation et des prix de vente et d'abonnement des publications.

Aucune modification aux décisions antérieures n'est demandée ni apportée par l'Assemblée.

Digitized by Google

Approbation des comptes de l'année 1896 et Rapports du Trésorier.

M. le Trésorier donne lecture du rapport suivant :

RAPPORT DU TRÉSORIER.

MESSIEURS,

La situation financière de notre Société reste satisfaisante à la fin de l'exercice 1897.

Grâce à l'importance des subsides alloués par les pouvoirs publics, l'État belge et la province du Brabant; grâce encore au grand nombre de nos membres payant avec régularité leurs cotisations, nous parvenons à trouver les ressources nécessaires pour faire face aux frais considérables qu'entraînent les multiples manifestations vitales d'une société scientifique vigoureuse et active.

L'état de la caisse nous autorise à croire que nous pourrons aisément payer ce qui reste à solder pour parfaire les publications des deux dernières années.

Et nos prévisions pour l'année 1898 sont telles que nous pouvons espérer la continuation de la bonne marche de la Société dans la voie pratique des affaires aussi bien que dans la voie purement scientifique.

SITUATION AU 31 DÉCEMBRE 1897.

Recettes.

Encaisse au 31 décembre 1896 . . . . . fr.		4,713 38
Cotisations et droits d'entrée de l'exercice 1897 . . . . . fr.	5,115 »	
Cotisations et droits d'entrée d'exercices antérieurs	705 »	
Versements anticipés	60 »	
		5,880 »
Vente de publications, 1897 et années antérieures		1,358 »
Subsides : de l'État belge (1896) et de la province de Brabant (1897) . .		2,000 »
Intérêt des capitaux		250 89
Comptes d'ordre		185 24
	Fr.	14,387 51

Digitized by Google

Dépenses.

Solde de l'impression et des planches du tome IX (1895). . fr.	1,576 38	
A valoir sur frais du tome X (1896)	1,131 47	
A valoir sur frais du tome XI (1897)	354 12	
Brochure Hans (décennaire), impression et port.	497 78	
Souscription à la carte de la mer du Nord (Van Mierlo). . . .	100 00	
		3,659 75
FRAIS GÉNÉRAUX : Conférences et excursions; employés du secrétariat et de la bibliothèque; circulaires et convocations, fournitures de bureau, ports et menues dépenses.		1,698 69
FRAIS EXCEPTIONNELS : 10e anniversaire et Exposition avec ses conférences, promenades et réceptions	417 56	
Rachat de volumes du *Bulletin*, déplacement de la bibliothèque, etc. . . .	257 48	
		675 04
Comptes d'ordre		185 24
TOTAL DES DÉPENSES . . . . . fr.		6,218 72
Encaisse du 31 décembre 1897.		8,168 79
BALANCE . . . . . fr.		14,387 51

Report de l'encaisse . . . . . fr.		8,168 79
Reste à encaisser, pour l'exercice 1897 :		
Cotisations . . . . . fr.	190 »	
Vente des publications de 1896 et 1897.	840 »	
Subsides de l'État belge (1897).	1,000 »	
		2.030 »
TOTAL DES RESSOURCES PROBABLES, POUR FIN 1897. . fr.		10,198 79

Par contre, les dépenses restant à solder pour le même exercice comprennent :

Solde des frais d'impression, de planches et d'expédition des tomes X et XI . . . . . fr.	8,752 31	
Souscription à l'Expédition antarctique	100 »	
		8,852 31
Boni, applicable aux publications et excursions		1,346 48
BALANCE. . . . . fr.		10,198 79

L'Assemblée approuve les comptes de 1897, tels qu'ils viennent d'être exposés par M. le Trésorier.

Digitized by Google

Projet de budget pour 1898.

Ce projet, arrêté en séance du Conseil, balance par une somme de 7,615 francs en recettes et en dépenses, toujours en tenant compte de l'intégralité de nos subsides; 5,615 francs sont réservés dans ces estimations pour la publication du tome XII du *Bulletin*. Il est prévu que les frais de reliure et d'organisation de l'inventaire de la bibliothèque entraîneront une dépense exceptionnelle de 250 francs.

Le reste des ressources doit être absorbé par les frais généraux.

Fonds spécial de la carte pluviométrique.

Au 31 décembre 1896, l'encaisse était de		fr	1,967 67
Recettes effectuées :			
Produit des cartes vendues en 1895. 1896 et 1897 . .	fr.	378 10	
Intérêt des capitaux		77 40	455 50
TOTAL DES RECETTES		fr.	2.423 17
Dépenses :			
Ports et menus frais		fr.	7 72
Indemnité à l'employé du secrétariat			25 84
TOTAL DES DÉPENSES			33 56
Somme disponible au 31 décembre 1897 pour le fascicule II			2,389 61
BALANCE		fr.	2,423 17

Le Trésorier,

Dr TH. GILBERT.

Session extraordinaire de 1898 et programme des excursions diverses.

L'Assemblée adopte unanimement le projet de Session annuelle extraordinaire en Lorraine et dans les Vosges, tel qu'il est proposé ci-dessous par M. l'ingénieur *Imbeaux*, qui s'est assuré, pour la direc-

Digitized by Google

tion des courses proposées, la précieuse collaboration de MM. les professeurs *Bleicher* et *R. Nicklès*, de la Faculté des sciences de Nancy, *Lebrun* et *Villain*, ingénieurs des mines, à Nancy, et *Barthélemy*, de la Société géologique de France.

La Session, dans la pensée de ses organisateurs, doit durer du 15 au 21 août 1898.

La séance inaugurale serait suivie d'une visite à la ville de Nancy, à ses établissements scientifiques, techniques et à ses musées. Une première journée d'excursion, dirigée par M. Bleicher, ferait étudier, entre Nancy et Pagny-sur-Moselle, d'intéressants points de géographie physique, notamment la question, encore non résolue, de l'ancien passage de la Moselle par le Val-de-l'Ane. La visite, sous la direction de M. Imbeaux, de l'usine élévatoire des eaux de Nancy, clôturerait cette première journée. Dans la matinée du 1er avril, on étudierait sur le plateau de Haye, des points qui, comme les Quatre-Vents et le Champ-de-Bœuf, fournissent de précieuses et caractéristiques données sur l'altération des roches et sur l'ablation des plateaux, en même temps qu'ils procureront sur les relations du Bathonien avec le Bajouin des données peu connues, ainsi que d'autres faits sur les variations de caractère et d'épaisseur du Bajocien supérieur. L'après-midi du même jour serait consacrée, sous la direction de M. R. Nicklès, à l'étude détaillée du Rhétien, de l'Héthangien, du Sinémurien, du Charmouthien et du Toarcien. C'est dire qu'on y verra, dans d'excellentes conditions, le contact du Triasique supérieur et du Jurassique, et la disposition des diverses nappes aquifères de cette série complexe sera également étudiée avec soin.

La journée du 18 août sera consacrée à la visite des usines métallurgiques de Pont-à-Mousson, et celle du 19, dirigée par M. Bleicher, nous fera voir les mines de sel gemme d'Einville, ainsi que la belle usine de Dombasle de notre compatriote M. E. Solvay. Les exploitations de trapp et de granulite de Raon-l'Étape pourront également être visitées si le temps ne fait pas défaut.

M. Bleicher dirigera, le 20 août, les excursionnistes dans la pittoresque région des Vosges et nous montrera les lacs d'origine glaciaire de Gérardmer et de Retournemer. Enfin, le col de la Schlucht pourra être visité par ceux des excursionnistes qui désireront pousser cette pointe vers un admirable paysage géologique, et sous la direction de M. Barthélemy.

Les amateurs de phénomènes glaciaires pourront enfin trouver de

Digitized by Google

grandes satisfactions et de précieux renseignements dans la course du 21 août, que dirigera M. Bleicher, dans la vallée de la Presle, à Saint-Maurice et à Bussang.

Une course supplémentaire, consacrée aux mêmes phénomènes glaciaires vosgiens et des régions élevées encore, pourra aussi être organisée, si on le désire, dans les parages de Remiremont à Château-Lambert, par la route des Crêtes.

Ce superbe programme fait espérer de nombreuses adhésions et l'Assemblée vote de chaleureux remerciements aux organisateurs de Nancy.

En fait d'excursions diverses d'une journée (le dimanche principalement), l'Assemblée décide de profiter de l'offre aimable de M. de Dorlodot pour étudier en deux journées successives les couches devoniennes et carbonifères des flancs de la crête du Condroz, dans la vallée de la Meuse et dans la région de Fosses.

Elle inscrit aussi au programme des courses du dimanche une excursion aux travaux maritimes de Heyst, d'autres, aux carrières de Soignies, aux exploitations de phosphate de Baudour, et enfin une couple de courses aux environs de Bruxelles.

ÉLECTIONS.

Élection de quatre Vice-Présidents :

Sont nommés, en remplacement de MM. L. Dollo, A. Rutot, A. Houzeau, et X. Stainier, non rééligibles : MM. *E. Cuvelier*, *G. Jottrand*, *M. Mourlon* et *J. Willems*.

Élection de deux délégués du Conseil :

Sont nommés en remplacement de MM. Al. Gilbert et G. Jottrand, non rééligibles : MM. *L. Dollo* et *A. Houzeau*.

Élection de trois membres du Conseil :

Sont nommés, en remplacement de MM. de Dorlodot, M. Mourlon et Willems, non rééligibles : MM. *Ad. Kemna*, *C. Klement* et *X. Stainier*.

Digitized by Google

Élection du Bureau du Comité d'études des matériaux de construction :

Est nommé Président en remplacement de M. L. Berger, démissionnaire : M. *A. Renard.*

Sont nommés Secrétaires : MM. *Cl. Van Bogaert* et *J. Willems.*

Projet de la Fédération des Sociétés scientifiques de Belgique (1).

Le promoteur de ce projet, M. E. Van den Broeck, désireux de faire un exposé préliminaire assez développé des avantages divers de l'Institution qu'il préconise, reconnaît, d'accord avec l'Assemblée, que le temps ferait défaut pour faire cet exposé et discuter convenablement la question.

L'ordre du jour de l'Assemblée générale comprend, en effet, l'important débat relatif à la modification des Statuts, dont l'examen — M. Van den Broeck le reconnaît — doit avoir la priorité et doit être terminé aujourd'hui. En conséquence, l'exposé de M. Van den Broeck et la discussion de la question sont remis à une date ultérieure.

Examen des modifications proposées aux Statuts et adoption d'une rédaction définitive de ceux-ci.

La Commission de revision des Statuts, nommée dans l'Assemblée générale annuelle du 17 février 1897, et composée de MM. *E. Cuvelier*, *G. Jottrand* et *J. Willems*, dépose son Rapport.

M. le Secrétaire donne lecture de l'ensemble des modifications proposées, puis l'Assemblée passe à l'examen de chaque article pour lequel des modifications ont été proposées.

Après les votes relatifs aux divers articles, l'Assemblée procède à un vote sur l'ensemble, conforme aux documents qui seront distribués dans le fascicule II-III du tome XI de la présente année 1897.

(1) Cette proposition n'est toutefois présentée que comme remise sur pied éventuelle d'un projet faisant suite aux premières réalisations qui furent tentées naguère à Bruxelles, d'une tentative datant de 1875, et qui avait pris corps au sein de la Société royale Malacologique de Belgique

Digitized by Google

Communication du Bureau de 1897.

M. le Secrétaire communique, au nom du Bureau, la nouvelle que les tréteaux sur lesquels était exhibée notre collection de matériaux de construction à l'Exposition de Bruxelles, viennent, conformément à la demande de la Société, d'être acquis, au prix de 700 francs, par le Ministère de l'Agriculture et des Travaux publics, dans le but de conserver à notre disposition ces matériaux. D'autre part, ces derniers peuvent rester réunis dans le local d'exposition du Musée du Cinquantenaire, jusqu'à ce que la question des locaux définitifs soit réglée avec le Département. — *Applaudissements.*

Vu l'heure avancée, il est procédé ensuite à l'installation du nouveau Bureau pour l'exercice 1898, et la séance est levée à 10 $^3/_4$ heures.

Digitized by Google

Digitized by Google

LA
GÉOLOGIE ET LA PALÉONTOLOGIE
A
L'EXPOSITION INTERNATIONALE DE BRUXELLES EN 1897

PAR

A. RUTOT
Conservateur au Musée royal d'histoire naturelle de Bruxelles
Secrétaire de la Classe 83 (Géologie).

INTRODUCTION

En 1897, pendant l'Exposition de Bruxelles, le catalogue de la Section des sciences a paru en deux fascicules, publiés chez Hayez, imprimeur des Académies royales de Belgique.

Toutefois, ce catalogue, qui comprend aussi l'énumération des questions de concours et les desiderata, ainsi que les rapports des jurys, n'a pu entrer, pour chacune des sciences représentées, dans des détails qu'il convenait, peut-être, de ne pas laisser se perdre.

C'est pourquoi les Sociétés scientifiques représentant chacune des branches de la science ont cru utile de publier le catalogue détaillé des parties qui les concernent spécialement, et c'est la raison pour laquelle la Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie a décidé de faire paraître dans ses *Bulletins* le catalogue détaillé de la Classe 83, comprenant tout ce qui a rapport à la géologie et à la géographie.

C'est ce catalogue spécial que nous reproduisons ci-après.

Digitized by Google

CLASSE 83.

GÉOLOGIE ET GÉOGRAPHIE.

La classe de Géologie-Géographie est l'une de celles dont le développement a pris le plus d'extension parmi celles de la Section des sciences.

Elle occupe la partie droite de l'hémicycle compris entre le compartiment de l'Art militaire et le Salon d'honneur.

D'une manière générale, dans les vitrines, les objets de chaque exposant sont restés groupés autant qu'il a été possible; mais pour la rédaction du catalogue spécial, il a été jugé utile, pour mieux apprécier l'ensemble des objets exposés, d'introduire des subdivisions par catégories, subdivisions qui avaient déjà été indiquées dans la circulaire adressée aux exposants et destinée à bien préciser les diverses séries d'objets pouvant être comprises dans l'exposition de la Section des sciences.

Le classement suivi ci-dessous correspond donc à celui qui a été publié et dont il vient d'être question, sauf certaines modifications qui ont dû y être introduites.

A. — Photographies, dessins, modèles réduits ou spécimens naturels de phénomènes, ayant rapport a la géologie ou a la géographie physique.

1° Structure des roches. (*Composition minéralogique, caractères macroscopiques, caractères microscopiques, fentes, failles, contacts, plissements, métamorphisme, etc.*)

De nombreux exposants ont contribué à la réunion d'abondants matériaux relatifs à cette subdivision.

Nous citerons notamment, pour ce qui concerne les objets en nature, **le Laboratoire de lithologie de l'Université de Gand,** dirigé par

Digitized by Google

M. **A. Renard**, *professeur*, qui expose une belle série de roches plissées, étirées, fracturées, etc., destinée à l'enseignement.

M. **X. Stainier**, *professeur de géologie à l'Institut agricole de Gembloux*, qui nous montre une série de roches plissées et d'autres ayant subi des actions diverses, échantillons provenant principalement de notre pays.

M. le Dr **B. Sturtz**, de Bonn, qui expose de superbes séries destinées à l'enseignement et relatives :

1° Aux minéraux entrant dans la composition des roches;

2° A la texture des roches (texture cristalline, macrocristalline, microcristalline, amorphe, composée, bréchiforme, clastique, organique, compacte, feuilletée, agglomérée, etc.);

3° A la morphologie des roches (roches compactes, massives, poreuses, spongieuses, vésiculaires, granulaires, terreuses, schisteuses, en plaques, en colonnes, etc.);

4° A la morphologie organique des surfaces;

5° Aux formes de concrétionnement (sphéroïdes, géodes, amygdales, stalactites, septaria, imprégnations, dendrites, oolithes, etc.);

6° A la classification des roches (homococcites, hétérococcites, hyalites, phyllolites, pélolites, pséphrolites, organolites);

7° Au métamorphisme des roches (métamorphisme de contact par les roches éruptives anciennes et modernes, métamorphisme dynamique).

M. le Dr **F. Krantz**, à Bonn, qui a envoyé une très intéressante collection destinée à mettre en relief, pour l'enseignement, l'aspect macroscopique des roches et comprenant, outre les formes de plissement, des exemples de roches volcaniques : prismes de basalte, bombes et larmes de lave, filons injectés avec métamorphisme, actions de contact, puis des effets d'érosion, *ripple marks*, empreintes de pas d'animaux, etc.

Dans le même ordre d'idées vient aussi se classer la *série des trente-deux modèles géotectoniques de Kalkowsky*, construite par le Dr *Krantz*, destinée à l'enseignement et rendant compte des structures de diverses régions du globe, produites soit par des dépôts réguliers, soit par des couches inclinées, ondulées, plissées, fracturées, faillées, étirées ou soumises à des phénomènes intrusifs ou éruptifs.

Enfin, il y a lieu de mentionner ici la magnifique *collection des roches éruptives de l'Eifel et du Laachersee*, également représentées par des *coupes minces* pour l'étude au microscope; le tout envoyé par le Dr Krantz.

M. **J. Cornet**, *géologue de l'exploration du Katanga* (*Congo*), a exposé une très belle *collection des principaux types de roches du sud du bassin du Congo* (exploration 1891-1893).

Digitized by Google

Nous y voyons des limonites latéritiques; des roches du Lubilache, d'âge encore indéterminé; des grès feldspathiques et schiste rouge (Permien?); des calcaires, schistes et poudingues de base du Devonien; des oolithes, des schistes et phtanites siluriens; des schistes et calcaires métamorphiques et des quartzo-phyllades cambriens; des phyllades, arkoses et conglomérats précambriens; des quartzites et des roches métamorphiques de l'Archéen et, enfin, des granites et autres roches éruptives.

L'United States geological Survey, *à Washington, directeur Ch. Walcott*, a, dans le même but, envoyé à l'Exposition un certain nombre de splendides photographies de phénomènes géologiques se rapportant à l'aspect macroscopique des roches et à leurs plissements.

2° Érosions et dépôts correspondants. (*Cañons, gorges, ravins, vallées, cataractes, deltas, bancs, etc.*)

Dans cette subdivision, ce sont les photographies qui priment les objets matériels.

Parmi ces derniers, nous citerons spécialement deux modèles d'effets d'érosion exécutés par M. **X. Stainier**, *professeur à l'Institut agricole de Gembloux*, ainsi que quelques-uns des *modèles de géotectonique de Kalkowsky*, exposés par M. le Dr Krantz, de Bonn.

Pour ce qui concerne les photographies, signalons tout d'abord avec grand honneur l'admirable série de photographies envoyée par l'**United States geological Survey** *de Washington* et représentant les principaux sites des États-Unis d'Amérique, dont beaucoup montrent, d'une façon typique, les phénomènes d'érosion gigantesque qu'on y admire, tels que : le grand cañon du Colorado; les cañons de la Yosemite (Californie) et de la Yellowstone (Parc national); le ravinement superficiel dans les « mauvaises terres » du Dakota; le cañon de Chelly (Arizona); la brèche du mont Hickary (Californie); la colonne de Washington (vallée du Yosemite); l'église Navajo (Nouveau-Mexique); Stone Mountain (Géorgie); ponts naturels (Virginie); cônes d'alluvions de Yahtse River (Alaska); la cataracte du Niagara; celle de la Yellowstone, etc.

Dans le même ordre d'idées, M. **Eugène Trutat**, *directeur du Musée d'histoire naturelle de Toulouse*, a fait parvenir un lot très important de très belles photographies relatives à de nombreux et intéressants phénomènes d'érosion existant dans le Midi de la France.

On y voit de magnifiques exemples de gorges, ravins, aiguilles

Digitized by Google

rocheuses, blocs éboulés, corrodés, aspects ruiniformes, cheminées des fées, etc., constituant un ensemble des plus instructifs.

M. **Ernest Van den Broeck**, *conservateur au Musée royal d'histoire naturelle de Belgique et membre du Conseil de direction de la Carte géologique du royaume,* a exposé, dans le même but, une très belle série de photographies représentant les principaux sites de la *Suisse saxonne,* située au sud de Dresde.

Bien que constituée par des couches gréseuses du Crétacé supérieur restées horizontales, la région, par le réseau des diaclases et ensuite par l'érosion des eaux courantes, a été découpée en masses d'un pittoresque intense, présentant des cañons, des gorges, des ponts naturels, des aiguilles, des masses d'aspect ruiniforme ou tabulaire.

D'autre part, le même exposant exhibe une dizaine de photographies de grand format des chutes du Niagara, montrant la célèbre chute et ses environs et aussi des aspects de la cataracte pendant l'hiver. Ces belles photographies sont accompagnées de diagrammes montrant le mécanisme de la chute et destinés à faire comprendre les phénomènes passés, présents et à venir relatifs à ce grand phénomène de la nature.

3° Phénomènes glaciaires. (*Glaciers polaires et autres; moraines, roches striées ou moutonnées, débâcles, etc.*)

En toute première ligne, nous avons encore ici à citer la superbe *collection de photographies* envoyée par l'**United States geological Survey**. Parmi ces photographies, nous citerons les vues diverses des glaciers du volcan Shasta (Californie) et du volcan Rainier (Washington); celles du glacier du Mont Dana (Sierra-Nevada), du glacier d'Agassiz (Alaska), qui donne naissance à l'immense glacier de Malaspina, du glacier du cap Douglas (Alaska), qui descend dans la mer. En outre, nous remarquons plusieurs vues de moraines et principalement celle de deux moraines d'âge différent, se croisant à angle droit.

Dans le même ordre d'idées, la très belle *collection de photographies* exposée par M. **Trutat**, *directeur du Musée d'histoire naturelle de Toulouse,* contient une série considérable de vues relatives aux glaciers pyrénéens : glaciers proprement dits, roches striées et moutonnées, moraines, marmites des géants, etc.

Pour terminer, citons ici l'envoi par la **Direction des travaux géologiques du Portugal** de bonnes photographies de *blocs erratiques* de ce pays.

Digitized by Google

4° Sédimentation. (*Types ou exemples de dépôts marins, fluviaux, lacustres, éoliens, etc.*)

C'est ici que vient se placer la mention de la très intéressante collection exposée par M. le Dr **B. Stürtz**, à Bonn.

Sous la dénomination : *origine des dépôts*, M. Stürtz a composé la collection des types de la manière suivante : 1° dépôts subaériens; 2° dépôts de sources; 3° dépôts volcaniques; 4° dépôts d'eau douce; 5° dépôts d'eau saumâtre; 6° dépôts marins. C'est une très bonne série destinée à l'enseignement.

Nous croyons pouvoir aussi signaler ici la *coupe complète et très détaillée du puits artésien communal de Gand* creusé par M. *Delecourt-Wincqz*, exposée par le **Laboratoire de minéralogie de l'Université de Gand**. Outre les échantillons renfermés en tubes, on peut voir des blocs volumineux du terrain primaire (Cambrien) retirés du fond du sondage, à plus de 200 mètres de profondeur.

D'autre part, M. **Ladrière**, professeur à Lille, a exposé en bocaux, tous les types de ses divisions et subdivisions du Quaternaire. A noter principalement la série des limons de l'étage moyen et celle de l'étage supérieur.

Les *photographies* de l'**United States geological Survey** sont encore à citer ici avec éloges, car elles nous montrent l'aspect d'un certain nombre de dépôts sédimentaires d'âges différents, tant marins que lacustres, ainsi que l'effet du vent sur certaines roches éruptives. Elles nous montrent, de plus, de très intéressantes reproductions de particularités de dépôts de certaines couches littorales, telles que *ripple marks* avec traces d'animaux, rigoles de ruissellement, boues desséchées, etc.

Pour terminer, signalons encore plusieurs bonnes *photographies*, envoyées par la **Direction des travaux géologiques du Portugal** et représentant divers types « de dunes de rivages et de dunes continentales; ces dernières atteignent l'altitude de 250 mètres ».

5° Phénomènes sismiques. (*Effets de tremblements de terre, cartes de propagation, etc.*)

Au point de vue des phénomènes sismiques, les publications des diverses sociétés savantes qui exposent (Société géologique de France, Service géologique d'Italie, etc.) renferment des travaux intéressants à ce sujet.

Bien que la preuve de l'origine sismique des bruits mystérieux

Digitized by Google

(*mistpoeffers*) étudiés par M. *E. Van den Broeck* n'ait pas encore été fournie, il y a lieu de signaler ici un *microphone* spécial, construit sur les données de M. **Léon Gérard**, *directeur adjoint à l'Institut Solvay*, et destiné à écouter les manifestations sonores des *mistpoeffers* au moyen d'une sonde enfoncée en terre. Cet appareil, très ingénieux, sera prochainement mis en service.

6° Phénomènes volcaniques. (*Effets divers de l'activité volcanique; coulées de lave, volcans de boue, geysers, etc.*)

L'exposition la plus importante de cette division est celle de M. le Dr **A. Andreae**, *du Roemer-Museum, à Hildesheim*, qui a envoyé les éléments d'une monographie des *geysers*.

A cet effet, M. le Dr Andreae a exposé une très belle série de photographies des principaux geysers des États-Unis d'Amérique, de la Nouvelle-Zélande, des sources chaudes de diverses régions; série qui a pu être largement complétée par de nombreuses photographies des geysers et des sources chaudes d'Amérique et de la Nouvelle-Zélande appartenant à M. **E. Van den Broeck**.

En outre, M. le Dr Andreae a ajouté, à ces documents, des échantillons des dépôts siliceux des geysers et de grands tableaux montrant le mécanisme des geysers selon son interprétation, une grande carte de la région des geysers du Parc National des États-Unis d'Amérique et des diagrammes relatifs aux phénomènes de projections d'eau bouillante et de vapeurs des geysers et à leurs intermittences.

Enfin, nous trouvons encore un appareil (1), construit sous la direction et d'après les idées de M. le Dr Andreae, destiné à reproduire en petit toutes les phases de l'éruption d'un geyser et montrant en même temps que ces phénomènes peuvent être attribués à un écoulement d'eau froide superficielle dans un canal vertical recevant, à profondeur convenable, de la vapeur d'eau surchauffée; ainsi qu'un travail du même auteur sur les geysers et les moyens d'en reproduire artificiellement les éruptions.

M. le Dr Andreae avait proposé d'établir, à l'Exposition, un grand appareil de démonstration pouvant donner un jet d'une dizaine de mètres; mais, vu le peu de temps disponible, ce projet n'a pu être mis à exécution.

(1) Cet appareil, qui appartient actuellement au Musée du *Physikalischer Verein* de Francfort-sur-le-Mein, a été gracieusement mis à la disposition de la Section des sciences par M. le professeur *König*.

Digitized by Google

Parmi les autres exposants, nous rencontrons encore l'**United States geological Survey**, dont la série de photographies renferme encore d'admirables éléments sur les phénomènes volcaniques.

Nous citerons notamment des vues superbes des volcans Rainier (Washington) et Shasta (Californie) avec leurs sommets couverts de glaciers et des détails sur leurs coulées de lave; la vue panoramique du cratère du lac Orégon de 5 milles de diamètre et de 2,000 pieds de profondeur, avec un petit cône adventif au milieu du lac; le culot plutonien du Wyoming; l'île nouvelle New-Bagoslov (Alaska); un geyser du Parc National; des dépôts siliceux de geysers et calcaires de sources chaudes; des détails sur des coulées de lave (sphéroïdales et colonnaires de la Sierra-Nevada); l'île Sainte-Augustine (Alaska), etc.

Mentionnons encore l'imposant *laccotithe* du Mont-de-l'Élan (Colorado), masse colossale de diorite quartzifère intruse dans des couches crétacées.

Ces documents sont accompagnés de quantités de travaux descriptifs relatifs à ces phénomènes et publiés dans les magnifiques publications du *Geological Survey* des États-Unis d'Amérique.

Pour ce qui concerne les volcans, signalons encore la belle série de *photographies du Vésuve*, exposée par M. **E. Van den Broeck**, représentant le détail du volcan : champs de lave, grand cratère, cratère actif, etc., ainsi qu'une série d'instantanées prises d'heure en heure lors du paroxysme de l'éruption de 1872.

7° Grottes et cavernes. *(Vues, plans, photographies, etc.)*

Il convient de placer ici en première ligne les très nombreux documents : *photographies, vues, plans*, etc., envoyés par l'infatigable explorateur des cavernes, M. **Martel**, *fondateur de la Société de spéléologie.* Ces documents, d'un haut intérêt, illustrent les recherches faites en quantité de pays par M. Martel et notamment dans les grottes, cavernes et causses de la France, dans les grottes, cavernes et bétoires d'Irlande et d'Angleterre, etc. Les vues sont accompagnées de nombreux plans levés par l'auteur, ce qui constitue un ensemble de grande valeur scientifique.

A ce lot principal viennent s'ajouter un certain nombre de *belles photographies* de M. **Trutat**, *directeur du Musée d'histoire naturelle de Toulouse*, prises dans la région pyrénéenne, ainsi que quelques *photographies* de l'**United States geological Survey** montrant des corrosions caverneuses dans des masses calcaires.

Digitized by Google

Enfin, **M. E. de Pierrepont**, membre de diverses sociétés savantes, a exposé à son tour une très belle série de stalactites et de stalagmites de formes très diverses ainsi que des incrustations d'objets provenant de la **grotte de Han** (près Rochefort, Belgique); de plus, une bonne collection de photographies représentant les principaux sites de la grotte complète cette intéressante exposition.

Dans la série des *publications de la Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie*, on trouve également des travaux avec planches et coupes, relatifs au mode de formation des grottes et cavernes, dus à MM. *E. Dupont*, *E. Van den Broeck*, *Flamache*, *Stainier*, etc.

8° Phénomènes d'altération. *(Représentation des aspects fournis aux terrains par ces phénomènes; roches intactes et roches altérées; phosphates naturellement enrichis, etc.)*

Cette subdivision n'est représentée, à l'Exposition, que par des travaux de MM. *E. Van den Broeck*, *A. Rutot*, *X. Stainier*, *J. Gosselet*, etc., parus dans les *Bulletins de la Société belge de géologie* (Bruxelles), *de la Société géologique de Belgique* (Liége), *de la Société géologique du Nord* (Lille), *de la Société géologique de France* (Paris), etc.

En dehors de la Section des sciences, de nombreux exploitants ou fabricants d'engrais chimiques ont exposé de beaux échantillons de phosphates de diverses provenances, dont beaucoup sont enrichis et rendus exploitables grâce aux phénomènes d'altération.

B. — Appareils et dispositifs de géologie expérimentale.

Dispositifs réalisés pour l'étude des plissements, fractures, formations de dépôts spéciaux, métamorphisme, etc.

Cette division n'a pas été représentée d'une manière aussi brillante que l'avaient espéré les promoteurs de la Section des sciences.

M. Stanislas Meunier, *professeur de géologie au Museum d'histoire naturelle*, à Paris, a seul envoyé les deux dispositifs suivants :

1° *Appareil plan pour l'* **étude de l'orographie expérimentale** *par le refoulement, vers l'une de ses extrémités, d'une couche de matière plastique non contractile, déposée sur une feuille de caoutchouc étirée et qui revient sur elle-même.*

Digitized by Google

2° *Appareil hémisphérique pour l'étude de l'orographie expérimentale par le refoulement, vers le pôle, d'une couche de matière plastique non contractile, déposée sur une feuille de caoutchouc étirée en demi-sphère et qui revient sur elle-même.*

A ces appareils sont ajoutés :

3° Une plaquette de plâtre ayant subi, avant sa consolidation, le refoulement vers l'une de ses extrémités, par la contraction d'une feuille de caoutchouc qui la supportait. Imitation des grands traits de structure des chaînes de montagne : réseau de cassures conjuguées, failles inverses, structures imbriquées, structure amygdaloïde, etc.

4° Un moule pour obtenir des calottes de plâtre, destinées à subir les refoulements vers le pôle par la contraction du caoutchouc hémisphérique qui les supporte.

5° Un appareil destiné à expliquer le mécanisme du dédoublement des canaux de la planète Mars par la présence d'une atmosphère autour de la planète.

C. — Cartes géologiques d'ensemble ou détaillées. Spécimens de publications des services géologiques. Cartes agronomiques. Tableaux synoptiques des terrains.

Cette division est très brillamment représentée à l'Exposition et occupe une surface très considérable; nous donnerons ci-après une idée des objets exposés par pays :

AMÉRIQUE (ÉTATS-UNIS D').

Outre les splendides collections de photographies que nous avons déjà eu l'occasion de signaler, le **United States geological Survey** a envoyé à Bruxelles une énorme quantité de cartes et de documents.

Les cartes sont de deux sortes : les unes topographiques, les autres géologiques.

Les cartes géologiques comprennent plusieurs modes de tirage; il en est qui donnent la géologie superficielle (areal geology); d'autres fournissent des coupes en travers (structure sections); d'autres ont un intérêt utilitaire (economic geology) et, enfin, il en est relatives aux puits artésiens (artesian wells).

Beaucoup de ces cartes figurent dans des atlas publiés par livraisons; d'autres sont montées sur toile et occupent des surfaces murales.

Digitized by Google

Nous remarquons, parmi ces dernières, plusieurs cartes ayant rapport à New-York et ses environs, la carte géologique du « National Park », etc.

Les publications du Service, bien connues des géologues, sont admirablement représentées; nous y rencontrons les seizième et dix-septième rapports annuels (sept volumes); les monographies n°s 25, 26, 27 et 28; les *Bulletins* (vingt-quatre volumes).

Le grand Service américain est donc dignement représenté.

A ces documents viennent s'ajouter ceux envoyés par le **Geological Survey of New Jersey** et comprenant un bel atlas de cartes géologiques et quantité de cartes topographiques, orographiques, etc., ainsi que de nombreuses et intéressantes publications.

ANGLETERRE. — **Geological Survey of England, Wales, Scotland and Ireland.**

Très bel envoi de cartes géologiques, parmi lesquelles nous remarquons spécialement :

Angleterre et pays de Galles.

Carte géologique de l'Angleterre et des Galles, collée sur toile et montée sur rouleau, destinée à l'enseignement. Échelle $^1/_{253\,440}$. (Sous-sol.)

Carte du nord-est du Yorkshire, renseignant les dépôts superficiels. Échelle $^1/_{63\,360}$.

Londres et ses environs, avec les dépôts superficiels au $^1/_{63\,360}$.

Ile de Wight, carte avec dépôts superficiels au $^1/_{63\,360}$ et une coupe au $^1/_{10\,560}$.

Région houillère du sud du pays de Galles au $^1/_{63\,360}$ avec coupe au $^1/_{480}$.

Coupe des falaises de Cromer au $^1/_{1\,760}$.

Écosse.

Bassin du Forth au $^1/_{63\,360}$.

Highlands du nord-ouest au $^1/_{63\,360}$, et la même région à l'échelle du $^1/_{10\,560}$.

Irlande.

Aire volcanique du nord-est de l'Irlande au $^1/_{63\,360}$.

La plupart de ces cartes sont montées sur toile.

A signaler, en outre, les *cartes et coupes destinées à illustrer les idées de* **M. F. W. Harmer** *sur les changements physiques ayant affecté le bassin anglo-belge de la mer du Nord pendant l'époque pliocène.*

Digitized by Google

AUTRICHE. — **K. K. geologische Reichsanstalt,** *Vienne.*

Le service géologique d'Autriche-Hongrie a fait un envoi très important, constitué comme suit :

1° Des cartes entoilées, exposées sur mur, comprenant une carte géologique générale de la Monarchie austro-hongroise, à l'échelle du $^1/_{576\,000}$.

Une carte géologique d'ensemble de la Monarchie austro-hongroise, destinée à l'enseignement, à l'échelle du $^1/_{2\,000\,000}$.

Des cartes régionales : Lemberg au $^1/_{75\,000}$; environs de Vienne au $^1/_{75\,000}$; Krakau au $^1/_{75\,000}$; ostkarnische et julische Alpen au $^1/_{75\,000}$.

Une carte au $^1/_{1\,000\,800}$ de la partie littorale de l'Empire.

En outre sont exposés sur table cinq albums renfermant : une carte spéciale de la Bohême au $^1/_{144\,000}$; une carte de la Galicie et de la Bukowine au $^1/_{75\,000}$; une carte de la région alpestre au $^1/_{75\,000}$; des cartes diverses de régions et, enfin, des copies des feuilles manuscrites au $^1/_{25\,000}$.

AUSTRALIE. — Les envois d'Australie sont représentés par la carte géologique de la Nouvelle-Galles du Sud, levée sous la direction de M. E. F. Pittman, géologue du Gouvernement.

BELGIQUE. — Le Service géologique de Belgique a bien fait les choses.

Il expose :

1° Un immense panneau encadré de 64 mètres carrés, constituant l'ensemble de la Carte géologique publiée à l'échelle du $^1/_{40\,000}$.

Ce splendide panneau montre le degré d'avancement des travaux. Les vides sont peu nombreux et l'ensemble, à l'état d'achèvement, présentera un très haut intérêt;

2° Un album des feuilles parues et des spécimens de ces feuilles, mises sur panneau et choisies parmi les diverses régions du pays;

3° Une grande coupe nord-sud de la Belgique, montrant la structure géologique en profondeur;

4° Des spécimens de levés au $^1/_{20\,000}$, ainsi que des spécimens de cartes du sol, bases de la Carte agronomique.

5° Une carte géologique du sous-sol d'André Dumont, à l'échelle du $^1/_{160\,000}$, sert à montrer les progrès réalisés par la carte au $^1/_{40\,000}$.

M. M. Mourlon, *directeur du Service géologique,* expose une carte

Digitized by Google

au $^1/_{40\,000}$ de la partie nord du pays, indiquant les limites de l'extension maximum de la mer moséenne.

On se rappellera à ce sujet que le Moséen est le terme inférieur du Quaternaire de Belgique.

Il est principalement caractérisé par un épais dépôt de sable blanc pur, argileux, avec coquilles vers la base et d'origine marine, qui a recouvert le delta pliocène de la Meuse.

M. A. Rutot, *conservateur au Musée royal d'histoire naturelle, membre du Conseil de direction du Service de la Carte géologique du Royaume*, expose :

1° **Une carte de Belgique à l'échelle du** $^1/_{160\,000}$, en réponse au desideratum n° 19 : *Tracer, aussi exactement que possible, l'extension de la grande invasion marine postérieure au dépôt du limon gris stratifié à Helix et à Succinées, qui a déposé les sables et autres sédiments dits « Flandriens » et qui semble avoir terminé l'époque quaternaire.*

Cette carte montre non seulement les limites de l'extension maximum de la mer flandrienne, mais elle indique aussi clairement, par le figuré des parties de cette mer où la profondeur était plus grande que 10 mètres, la disposition du régime des vallées du bassin de l'Escaut avant l'invasion de la mer flandrienne.

Annexe. — Un mémoire intitulé : *Les origines du Quaternaire de la Belgique* (Société belge de géologie, 1897), dont la *première partie*, qui explique et commente la carte, a pour titre : *L'époque flandrienne, sa chronologie, ses sédiments et les conséquences de leur étude.*

2° *a*) **Un mémoire intitulé** : *Les origines du Quaternaire de la Belgique* (Soc. belge de géologie, 1897), dont la *deuxième partie* a pour titre : *Les époques hesbayenne, campinienne et moséenne. Le Tertiaire supérieur.*

b) **Douze cartes de la Belgique à l'échelle du** $^1/_{1\,600\,000}$, figurant la disposition des terres et des mers et le régime fluvial correspondant aux époques Oligocène inférieur, Oligocène moyen, Oligocène supérieur, Diestien, fin du Diestien, Polderien, Moséen, Campinien, Hesbayen, Flandrien et fin du Flandrien, le tout répondant à la question de concours, série n° 237D : *Exposer l'état actuel de la question des mouvements du sol en Belgique, dans ses rapports avec l'histoire des dépôts quaternaires et modernes et avec la succession des états physiques de nos contrées pendant l'ensemble des temps post-tertiaires jusqu'à nos jours.*

Le mémoire et les cartes répondent non seulement à la question du concours, mais étendent le sujet jusqu'à l'Oligocène inférieur. Ils rattachent la disposition des terres et des mers aux différentes époques,

Digitized by Google

aux modifications successives des vallées de l'Escaut et de la Meuse, mises si brillamment en lumière par les travaux de MM. E. Van Overloop et X. Stainier.

3° **Quatre cartes du littoral belge à l'échelle du $^1/_{40\,000}$**, en réponse à la question de concours n° 238 : *Représenter graphiquement, à grande échelle, la succession des différents états physigues de la région littorale qui a reçu le nom de « plaine maritime », depuis l'aurore des temps modernes jusqu'à nos jours.*

Pour répondre à cette question, l'auteur a eu, primitivement, l'idée de présenter six cartes au $^1/_{40\,000}$, montrant l'état physique du littoral :

1° Pendant le dépôt de *alr1*.
2° — — de la tourbe.
3° — — de *alr2*.
4° — — de *alp1* (argile inférieure des Polders).
5° — — de *alq*.
6° — — de *alp2* (argile supérieure des Polders).

Dans la suite, l'auteur a reconnu que les limites de *alr1* ne sont pas encore susceptibles d'être tracées utilement à grande échelle; puis qu'il valait mieux représenter les états physiques du littoral à des instants déterminés, présentant un maximum d'intérêt géologique et historique.

C'est pour cette raison qu'il a choisi les quatre états principaux et caractéristiques qui sont :

1° *Le littoral à l'époque de la conquête des Gaules par Jules César* (50 ans avant J.-C.).

On y voit, à l'ouest, les échancrures du littoral; à l'est, la grande plaine tourbeuse s'étendant loin au large du littoral actuel.

La *tourbe*, figurée en *gris*, représente la région marécageuse et boisée où les Ménapiens et les Morins se sont réfugiés à l'approche des légions romaines.

En *jaune* est figurée la plaine couverte de sable flandrien, où croissaient d'immenses forêts au milieu desquelles César et ses lieutenants durent se frayer passage. Les îlots *blancs* sont les sommets non recouverts par le sable flandrien et constitués principalement par l'argile et le sable paniseliens.

2° *Le littoral vers la fin de la domination romaine. Envahissement maximum de la plaine maritime par les eaux de la mer à la fin du IVe siècle.*

Au moment de la conquête des Gaules par Jules César, le littoral commença à s'affaisser lentement et la mer envahit ainsi peu à peu la

Digitized by Google

plaine maritime, recouvrant de ses dépôts coquilliers (*alr2*) la vaste plaine tourbeuse et anéantissant tous les établissements gallo-romains.

De l'an 400 à l'an 600 environ, la mer recouvrit la plaine maritime; puis, à la suite d'un léger mouvement de soulèvement, aidé par l'envasement, elle se retira, abandonnant dans des lagunes la première *argile des Polders* (*alp1*).

Vers l'an 800, tout le littoral fut évacué par les eaux, sauf quelques criques, et le soulèvement continuant, vers l'an 1000 les rivages furent reportés vers le large au delà du littoral actuel.

3° *Le littoral belge vers l'an 1000.* — Cette carte nous montre le résultat du soulèvement du littoral, la mer étant rejetée au delà des rivages actuels et l'embouchure actuelle de l'Escaut n'étant représentée que par un mince filet d'eau.

Sur les territoires fertiles reconquis naturellement sur la mer, un flot de populations germaniques vint s'établir et de nombreux villages se fondèrent.

4° *Le littoral belge vers l'an 1250.* — Cette situation si favorable ne se maintint pas. Peu après l'an 1000, le centre de la Hollande devint un point d'affaissement très important et la mer envahit de nouveau largement les territoires qu'elle avait primitivement abandonnés. Bientôt, grâce à de fortes tempêtes, cette nouvelle immersion devint désastreuse.

Les eaux pénétrant dans les criques et les chenaux les élargirent démesurément, et la Zélande se transforma en îles, pendant que, au nord, se formait le Zuyderzée et se détachaient du continent les îles de la Frise.

C'est vers 1250 qu'eurent lieu les plus grands désastres; plus tard les habitants luttèrent contre l'envahissement en élevant des digues.

Le mouvement d'affaissement semble s'être arrêté vers l'an 1500, et, depuis lors, le sol paraît stationnaire.

Annexe : Spécimens de poteries anciennes recueillies par M. A. Rutot dans la plaine maritime :

Dans le cours de ses levés géologiques dans la plaine maritime, M. Rutot a eu l'occasion de recueillir, surtout à proximité des travaux du nouveau canal de Bruges à la mer, un très grand nombre de poteries anciennes qui, dans les gîtes en place, sont toujours situées en dessous de l'argile supérieure des Polders (*alp2*). Ces poteries sont d'âges différents : il en est de gauloises, de belgo-romaines, puis du haut moyen âge jusqu'au XVI° siècle.

La plus grande partie de ces poteries datent du haut moyen âge (IX°

Digitized by Google

au XIIIe siècle). Ces poteries proviennent des anciens emplacements des villages primitifs fondés de l'an 700 à l'an 1000, lors de l'occupation de la plaine maritime, à la suite de l'émersion représentée par la Carte au $^1/_{40\,000}$ n° 3 (littoral vers l'an 1000).

Des spécimens de ces diverses poteries sont exposés dans une armoire, par localités.

MM. E. Van den Broeck et **A. Rutot**, conservateurs au Musée royal d'histoire naturelle de Bruxelles et membres du Conseil de direction de la Carte géologique, exposent les feuilles au $^1/_{20\,000}$ de *Bruxelles* et de *Landen, Saint-Trond* et *Heers*, publiées par l'ancien Service de la Carte géologique sous la direction de M. É. Dupont. Ces cartes sont exposées en vue de montrer les principes de levé et de publication, notamment : fusion des cartes du sol et du sous-sol; distinction du fait de l'hypothèse; emploi des sondages à mains pour le levé des terrains tertiaires et quaternaires, figuré des sondages.

M. **E. Van den Broeck**. — Feuille au $^1/_{20\,000}$ de *Bilsen*, publiée par l'ancien Service de la Carte géologique. Deux exemplaires montrant, l'un le travail terminé, l'autre le tracé des itinéraires nécessaires pour effectuer le levé géologique.

Laboratoire de minéralogie et de géologie de l'Université de Gand, sous la direction de M. *A. Renard*, professeur.

Parmi les nombreux et intéressants documents exposés par le laboratoire de géologie de Gand, se trouvent trois cartes, dont deux représentent, à des échelles différentes, la *répartition des sédiments océaniques* d'après le *Report on deep sea Deposits collected by H. M. S. Challenger*, par **J. Murray** et **A. Renard**.

La troisième carte représente, sur trois hémisphères, la *bathymétrie des trois grands océans : Pacifique, Atlantique* et *Indien*.

ESPAGNE. — *Mapa geologico de España*, dressée par une commission d'ingénieurs des mines, publiée en feuilles formant atlas au $^1/_{400\,000}$.

Carte géologique d'Espagne en une feuille au $^1/_{15\,000\,000}$.

FRANCE. — La participation de la France renferme les différents numéros suivants :

Ministère des Travaux publics. Service de la Carte géologique. M. Michel Lévy, directeur.

1° *Carte géologique de la France* au $^1/_{1\,000\,000}$;

Digitized by Google

2° *Carte géologique provisoire de l'Algérie*, 2e édition, au $^1/_{800\,000}$;

3° *Carte géologique des environs de Paris*, au $^1/_{40\,000}$;

4° *Feuilles de Mézières, Paris* et *Rouen*, au $^1/_{320\,000}$;

5° *Planches spécimens* de l'**Ardenne** de M. J. Gosselet. (Mémoires pour servir à l'explication de la Carte géologique de France.)

Carte géologique de la France, par G. Vasseur et L. Carez, dressée à l'échelle du $^1/_{500\,000}$.

Société géologique du Nord, *Lille*. M. J. **Gosselet**, professeur de géologie à la Faculté des sciences de Lille, expose *la topographie souterraine du Nord de la France*, quatre feuilles : *Lille*, indiquant par courbes de niveau :

a) La surface du calcaire carbonifère;

b) La surface de la craie;

c) La surface des sables d'Ostricourt:

d) La superposition des trois surfaces.

M. **Gosselet** expose, de plus, son *Esquisse géologique du Nord de la France*, avec nombreuses planches de cartes de distributions de terres et de mers aux différentes périodes géologiques, de coupes et de fossiles caractéristiques.

M. **Ladrière**, *de Lille*, a envoyé :

a) *Un grand tableau résumant les observations de l'auteur sur le terrain quaternaire en Allemagne* (vallée du Rhin, du Mein et de la Lahn), *en Belgique* (vallée de la Haine et de ses affluents, vallée de la Meuse) et *en France* (vallée de l'Escaut et de ses affluents, vallée de la Sambre, vallée de la Somme, vallée de la Seine et de ses affluents).

b) Un tableau : *Carte agronomique de la commune de Crespin*, avec explications, coupes, etc.

c) Diverses brochures intitulées : *Note sur les cartes agronomiques; Essai de géologie agricole; Exemples de l'inégalité des charges résultant du classement actuel des propriétés et de la répartition de l'impôt foncier dans le département du Nord.*

M. **P.-G. de Rouville**, *doyen de la Faculté des sciences de Montpellier*, a envoyé son œuvre si remarquable, excellent exemple de monographie locale : l'**Hérault géologique**, montrant, par des plans, cartes, coupes et panoramas, les détails de la géologie du département de l'Hérault.

En plus, quatre cartes au $^1/_{80\,000}$ des arrondissements de Montpellier, Béziers, Lodène et Saint-Pons.

Ém. Fallot : *Esquisse d'une carte géologique des environs de Bordeaux.*

MM. **M.-G. Dollfus** et **Vasseur** : Profil géologique du chemin de fer

Digitized by Google

de Méry-sur-Oise, section entre Bessancourt et Valmondois, montrant le détail des couches tertiaires du bassin de Paris.

Enfin, M. **E. Van den Broeck**, conservateur au Musée royal d'histoire naturelle de Bruxelles, expose plusieurs cartes relatives aux *affaissements du sol de la France, en relation avec sa structure géologique.*

D'autre part, M. **L. Wuhrer**, *graveur à Paris*, 4, rue l'Abbé-de-L'Épée, expose des spécimens de ses travaux de publication de cartes géologiques : feuilles de l'atlas des carrières souterraines de Paris; feuilles de Paris au $^1/_{320\,000}$ du Service de la carte géologique de France; feuilles de la carte géologique de MM. Vasseur et Carez; carte géologique de la Belgique au $^1/_{500\,000}$, en une feuille, par M. A. Dewalque, professeur à l'Université de Liége.

ITALIE. — L'envoi du **Service géologique d'Italie** est très complet et très intéressant et montre l'intensité du mouvement géologique dans ce pays. Le Service n'a voulu montrer que des nouveautés et, à cet effet, il a exposé : six feuilles de la Calabre au $^1/_{100\,000}$ et quatre feuilles des Alpes apuanes au $^1/_{50\,000}$ avec une magnifique feuille de coupes. De plus, il a adjoint à cet envoi : un diagramme de l'état des travaux, indiquant les feuilles explorées, celles levées en tout ou en partie et celles publiées; un spécimen d'une feuille des Alpes occidentales au $^1/_{50\,000}$; un spécimen d'une planchette levée sur l'agrandissement photographique au $^1/_{25\,000}$; un spécimen d'une feuille de l'Italie centrale levée au $^1/_{50\,000}$; un spécimen d'une planchette levée directement au $^1/_{25\,000}$ et une planchette des Alpes apuanes au $^1/_{25\,000}$; enfin, une feuille de l'Italie centrale réduite à l'échelle du $^1/_{100\,000}$ et une feuille de Rome, tenue constamment au courant, au $^1/_{500\,000}$.

A ces cartes sont jointes les publications suivantes : *Memorio descrittine della Carto geologica d'Italia*, vol. I à IX; *Memorio del R. Comitato geologico*, vol. IV; *Bollettino del R. Comitato geologico*, vol. XXVII, et, enfin, *Catalogue de la Bibliothèque du Service géologique.*

D'autre part, M. **F. Sacco**, *professeur à l'Université de Turin*, a fait parvenir sa belle **Carte géologique du bassin tertiaire du Piémont**, avec coupes montrant parfaitement l'allure des couches.

A signaler aussi du même auteur son **schéma orogénique de l'Europe** avec la zone des dépressions et le tracé des massifs calédonien et hercynien, ainsi que l'**essai de schéma orogénique de la Terre**, accompagné de quatre schémas très intéressants et très instructifs représentant l'**orographie du globe terrestre aux temps primaires, secondaires et tertiaires et aux temps à venir**, qui seront caracté-

Digitized by Google

risés par le découpage des continents et leur transformation ultime en îles reproduisant l'état actuel de la planète Mars.

JAPON. — Le Japon est incontestablement l'une des nations que l'on peut mettre au premier rang au point de vue de l'activité scientifique.

Ce pays a envoyé à l'Exposition de Bruxelles une série de travaux cartographiques, qui donnent une haute idée de l'intérêt que l'on porte au Japon à ces questions importantes.

Au Japon, comme aux États-Unis, la cartographie topographique est effectuée en même temps que le levé géologique, et le **Service géologique du Japon** expose une très belle série de spécimens de feuilles de la carte topographique détaillée, avec courbes de niveau, à l'échelle du $^1/_{400\,000}$.

Sur ce canevas, une édition géologique avec feuille d'assemblage a été publiée et, de plus, l'exposition montre également les spécimens de la carte géologique à l'échelle de $^1/_{200\,000}$.

Enfin, chose plus intéressante encore, le Japon publie sa **carte agronomique** à l'échelle du $^1/_{100\,000}$, et plusieurs feuilles spécimens indiquent comment cette œuvre utile est réalisée.

Des coupes et des textes explicatifs accompagnent la carte agronomique et les cartes géologiques.

Ces cartes du Japon ont fait sensation parmi les représentants du monde scientifique que les organisateurs de la Section des sciences ont eu l'honneur de recevoir.

PORTUGAL. — **La Direction des travaux géologiques du Portugal** a fait à l'Exposition un envoi très important, montrant la grande variété des questions étudiées et l'activité du personnel.

N'ayant à nous occuper ici que de la cartographie, notons que la Direction des travaux géologiques expose un spécimen, copié à la main, de la **Carta geologica de Portugal** à l'échelle du $^1/_{500\,000}$, dressée par MM. **J.-N. Delgado** et **P. Choffat**, ainsi que des *cartes de la distribution des facies de différents âges des périodes jurassiques et crétaciques* par **P Choffat**. Nous avons déjà signalé les photographies de phénomènes géologiques exécutées par M. P. Choffat.

RUSSIE. — Le **Comité géologique de Russie** a envoyé à l'Exposition de très bons spécimens de ses publications.

Nous signalerons tout particulièrement la jolie **carte géologique générale de la Russie** en une feuille, ainsi que huit spécimens des

Digitized by Google

feuilles de la carte géologique à l'échelle du $^1/_{420\,000}$, accompagnées de coupes.

SUISSE. — La Suisse n'a pas exposé officiellement, mais nous avons reçu de M. **E. Renevier**, *professeur de géologie et de paléontologie à l'Université de Lausanne*, un document d'un haut intérêt : c'est son **chronographe géologique**, monté sur toile et sur rouleaux, exposé en deux exemplaires.

Le chronographe géologique de M. Renevier est une œuvre de sagacité et de patience, destinée à rendre d'éminents services aux géologues et à unifier les nombreuses nomenclatures adoptées dans les différents pays.

Après avoir mis en pratique diverses décisions des congrès géologiques internationaux relatives aux noms à donner aux subdivisions chronographiques, M. Renevier divise les dépôts de même âge et les classe selon leurs facies.

Les facies principaux ou *formations* sont au nombre de trois, qui sont : formations océaniques ou zoogènes ; formations détritiques ou terrigènes ; formations terrestres.

Chacune des formations se divise à son tour en types (type récifal, type littoral, type lagunal, type aérial, etc.), et c'est dans ces subdivisions que sont classées les couches connues dans les pays actuellement explorés.

Ajoutons, de plus, que ce qui concerne chaque « période ou système » est imprimé sur papier de la couleur adoptée par les congrès, les « âges ou étages » se distinguant entre eux par des nuances différentes de ces couleurs.

Aux travaux cartographiques qui viennent d'être énumérés ci-dessus, il faut ajouter, comme figurant avec honneur à l'Exposition de Bruxelles, **la carte géologique internationale de l'Europe**, publiée à Berlin par les soins d'un comité international rattaché à l'œuvre des congrès internationaux de géologie.

On sait que cette carte est publiée à l'échelle du $^1/_{1\,500\,000}$.

D. — Minéralogie et cristallographie.

Dans cet ordre d'idées, il y a lieu de mentionner immédiatement la magnifique exposition du *Laboratoire de minéralogie et de géologie de l'Université de Gand*, installée par M. le professeur *A. Renard*. Cette

Digitized by Google

exposition renferme tout ce qui est utile à un laboratoire de lithologie pour pouvoir aborder les nombreux problèmes que nécessitent la détermination des minéraux entrant dans la composition des roches.

Ce laboratoire type nous montre les divers modèles de goniomètres, les uns destinés à la mesure des angles des cristaux macroscopiques, les autres destinés à fonctionner conjointement avec les microscopes.

Ensuite viennent les microscopes, puis les divers appareils de polarisation employés, s'adaptant aux microscopes, les spectroscopes, etc.

D'autre part sont exposés de grands échantillons de minéraux cristallisés, des préparations de roches en plaques minces, des modèles pour l'enseignement, destinés à expliquer les positions des divers axes des cristaux et tout le petit matériel permettant de mener à bien les diverses observations à effectuer.

Ce laboratoire retient vivement l'attention des spécialistes et une conférence très intéressante a été donnée, à l'Exposition, par M. **Stuber**, assistant de M. Renard, au sujet de l'emploi des divers instruments.

A signaler encore la **belle série de modèles de cristaux destinés à l'enseignement**, envoyée par le Dr **F. Krantz**, à Bonn, et comprenant :

1° La série des modèles de cristaux en verre, avec axes cristallographiques en soie, d'après les indications de M. le professeur Baumhauer, de l'Université de Fribourg (Suisse);

2° Spécimens de modèles de cristaux en verre représentant les plus importantes macles de pénétration, chaque cristal ayant une teinte de verre différente;

3° Série des modèles de cristallographie en carton, d'après les indications de M. le professeur K. Urba, de Prague.

M. **E. Bayet** a exposé divers spécimens de toute beauté de sa collection de minéraux, les échantillons provenant principalement des États-Unis d'Amérique.

M. le Dr **Crocq** présente la partie de sa belle collection de minéraux relative aux minerais de zinc si variés, rencontrés dans le gîte, actuellement épuisé, de Moresnet.

Rappelons ici la jolie série des principaux minéraux constituant les roches, envoyée par le Dr **Sturtz**, de Bonn; et enfin signalons avec intérêt les travaux de M. **Duboin** et, notamment, son exposition d'**échantillons et de photographies de minéraux artificiels cristallisés**.

Les travaux de M. Duboin font l'objet de deux séries distinctes : l'une relative à quelques combinaisons de l'yttrium; l'autre relative à la synthèse des fluorures et des silicates doubles, obtenue par M. Duboin au moyen de procédés nouveaux.

Digitized by Google

Dans la première série, on remarque principalement l'orthophosphate et le silicate d'yttria, constituants de la *xenotime* et de la *gadolinite* naturelles.

Viennent ensuite des silicates d'yttrium, des chlorure, bromure et sulfure d'yttrium et de sodium; des phosphates doubles d'yttria et de potasse ou de soude.

Dans la seconde série, M. Duboin montre les résultats de l'application d'une méthode nouvelle aux combinaisons de la magnésie, de la chaux, à de la baryte et à de la glucine, permettant d'obtenir la *leucite*, la *néphéline purement potassique* (qui n'avait pu être produite jusqu'ici) et, incidemment, la *cryolithe potassique* à l'état cristallisé.

Ajoutons enfin, pour terminer, que M. **Kortschakoff-Sivitski**, de Saint-Pétersbourg, a exposé plusieurs blocs de labrador poli, d'un très bel effet.

E. — Paléontologie.

La paléontologie est très brillamment représentée à l'Exposition de Bruxelles; nous allons essayer d'en donner un résumé rapide.

En toute première ligne, il faut placer le contingent très considérable que M. **Ernest Bayet**, de Bruxelles, a puisé dans ses vastes collections.

Nous ne pouvons ici donner le détail de ces collections; nous indiquerons la composition des diverses séries.

La série la plus importante donne un excellent aperçu de la **faune du Jurassique supérieur de Solenhofen**, représentant l'ensemble de la création à cette époque reculée. Nous y voyons des *Reptiles* (*Pterodactyles*, *Ramphorynchus*, etc.); de nombreux *Poissons*, ganoïdes, téléostéens et cartilagineux; de magnifiques *Crustacés* (Eryon, Palinurus, Limules, etc.), de splendides *Insectes*, admirablement conservés (Libellules, Blattes, Sauterelles, etc.). Parmi les *Mollusques*, nous remarquons des Céphalopodes (Ammonites avec Aptychus *in situ*, Plesioteuthis, avec poche à sépia conservée); puis viennent des *Encrines* et des *Comatules*, une splendide *Méduse* et enfin des *Algues marines*.

Dans la même vitrine est exposé le splendide exemplaire d'*Ichthyosaurus quadricissus* du Lias d'Holzmaden (Wurtemberg), conservé avec le contour des chairs et montrant, avec toute la perfection désirable, la nageoire dorsale et la queue inversement hétérocerque dont la constatation a causé un vif étonnement chez les paléontologistes.

Digitized by Google

Comme Reptiles jurassiques de grande dimension, signalons la dalle renfermant le squelette d'un grand spécimen d'*Ichthyosaurus quadricissus* et une autre sur laquelle s'étale le *Teleosaurus bollensis*, tous deux en exemplaires de toute beauté.

La grande plaque d'encrines jurassiques du même gisement que les pièces précédentes vient également s'inscrire ici.

Une deuxième magnifique série, provenant des collections de M. Bayet, est celle des **Vertébrés des Mauvaises terres** du Miocène du Dakota, en spécimens originaux. On y remarque notamment les curieux types (*Titanotherium, Brontotherium, Acerotherium, Diceratherium, Oreodon, Monodus, Elotherium, Rhinoceros, Anchitherium, Chelone*, etc.), décrits par les auteurs américains.

Une troisième magnifique série, appartenant à M. E. Bayet, est celle des **Céphalopodes secondaires** (Jurassique et Crétacé), en échantillons de grand format, dont quelques-uns ont des dimensions colossales. A citer les séries d'Ammonites (parmi lesquelles *Schloembachia* avec sa corne), des *Crioceras*, des *Hamites*, des *Ptychoceras*, des *Helioceras*, des *Turrilites* gigantesques, un magnifique Scaphite, une Baculite étonnante comme taille, etc.

Puis, du même exposant, viennent :

La série des Poissons ganoïdes du vieux grès rouge d'Écosse. (Remarquable échantillon de *Pterichtys*.)

Le magnifique *Eurypterus remipes* du Silurien d'Amérique (Buffalo).

La série des Trilobites du Silurien du Portugal.

Les *Cerithium giganteum* et l'*Ovula gisortiana* du bassin de Paris.

La série de Poissons fossiles des ardoises oligocènes de Glaris.

L'admirable collection d'Échinides primaires d'Angleterre et d'Amérique.

Et, pour clore cette courte énumération, la série incomparable de l'Éocène de Monte Bolca, dans laquelle figurent d'admirables Poissons et surtout d'étonnants Végétaux.

Outre des branches de Végétaux divers, dont plusieurs avec fleurs ou fruits, se trouve dressé, toutes feuilles en éventail déployées, un Palmier de 2 mètres de haut.

Cette pièce, unique par son état de conservation et par sa grandeur, a constitué l'une des principales attractions de la Section des sciences.

Immédiatement après les collections de M. E. Bayet, il convient de citer celles de M. **Delheid**, qui nous montre la *faune* et la *flore* les plus complètes qui existent actuellement de l'*argile de Boom* (Oligocène moyen).

Digitized by Google

La faune, notamment, est très considérable et renferme un *Halitherium* presque complet, des fragments de *Manatherium Delheidi*, des Tortues telles que *Chelone Benedeni*, *Chelone Waterkeyni*, de nombreux os d'Oiseaux, des restes très importants de Squales et de Poissons téléostéens; puis des Crustacés (énormes Homards et Crabes); des Céphalopodes (*Aturia*), de très nombreux Gastropodes d'une conservation magnifique, d'abondants Lamellibranches, puis de très intéressants et rares Cœlentérés, en forme de sphère, qui sont les seuls exemplaires connus.

Cette collection Delheid est d'un très grand intérêt pour ceux qui s'occupent de la faune oligocène; les éléments en sont étudiés par des spécialistes, tels que MM. Dollo et R. Storms, pour ce qui concerne les Vertébrés.

La flore de Boom est représentée par des fragments de bois, des branches et d'assez nombreux fruits.

M. **B. Sturtz**, de Bonn, a fait un envoi très important consistant :

1° En pièces originales et en moulages de Fossiles vertébrés (Reptiles et Poissons du Jurassique de Solenhofen, etc.) dont la pièce principale est un magnifique spécimen de *Cœlocanthus*.

2° En une très belle collection de Poissons fossiles de tous les étages géologiques, comprenant plus de deux cents espèces.

3° En une collection générale de Crinoïdes, de Cystidés et de Blastoïdés des terrains primaires (cent cinquante-cinq espèces).

4° En une très remarquable collection de Trilobites (environ deux cents espèces).

5° En une série d'échantillons de toute beauté de Crinoïdes, d'Astéries et de Fossiles divers, pyritisés, provenant des ardoises du Devonien inférieur de Budenbach.

6° Enfin, en une collection de modèles de Brachiopodes, supérieurement exécutés et destinés à l'enseignement.

M. le Dr **F. Krantz**, de Bonn, a également envoyé de fort belles séries de Fossiles destinées à l'enseignement; nous citerons notamment :

1° Plusieurs moulages de grands Vertébrés et de grands Reptiles, tels que : *Brontotherium*, *Rhinoceros tichorhinus*, *Belodon Kapfi*, du Trias, etc.

2° Pièces originales de grands Vertébrés et notamment de l'*Elephas antiquus* et du *Bison priscus* des cavernes de la Sicile.

3° Série de pièces originales variées, telles que : Reptiles, Poissons, Crustacés, Insectes, etc. du Jurassique de Solenhofen; Plantes et Poissons de l'Éocène de Monte Bolca; empreintes de pas de *Cheirothe-*

Digitized by Google

rium; empreintes végétales de la Houille et du Miocène ; bois transformé en calcédoine (*Araucarites*) de l'Arizona, etc.

4° Magnifique série d'Ammonites secondaires (*Peltoceras, Perisphinctes, Lytoceras*, etc.), plus un splendide exemplaire de *Belemmites giganteus* de la Westphalie.

5° Série très considérable de fossiles pyritisés (Crinoïdes et Astéries) des ardoises du Devonien inférieur de Budenbach.

6° Une grande plaque superbe de *Pentacrinus* du Lias d'Holzmaden, véritable fond de mer couvert de sa forêt d'encrines.

7° Une série de cent dix plaques minces de fossiles pour l'étude au microscope.

M. le professeur **Daimeries**, *de l'Université de Bruxelles*, a exposé une très riche série d'Ichthyolithes du Bruxellien.

On sait que les sables bruxelliens, surtout vers la partie inférieure, sont très riches en débris de Poissons fossiles et notamment en débris (dents et vertèbres) de Squales, de Raies (dents palatines et aiguillons) et de Poissons téléostéens divers.

De magnifiques spécimens de ces restes intéressants remplissent une grande bijoutière, celle-ci renfermant également des dessins non encore publiés des principales pièces.

M. **A. Briart**, *membre de l'Académie royale de Belgique*, a bien voulu nous confier les principales de ses collections :

1° **La faune type de la Meule de Bracquegnies**, renfermant les types figurés dans le grand travail publié dans les *Mémoires de l'Académie de Belgique* en collaboration avec M. J.-F. Cornet. On peut y reconnaître l'importante série de Gastropodes et de Lamellibranches qui donnent un si grand intérêt à cette faune du Crétacé moyen.

2° **La faune type du Calcaire grossier de Mons**, renfermant les plus beaux spécimens connus recueillis dans cette couche, dont la découverte, annoncée par MM. Briart et Cornet, fit tant d'impression parmi les savants. On sait que cette faune du Calcaire de Mons, qui constitue la base du Tertiaire belge, renferme une faune extrêmement riche en espèces admirablement conservées avec le test, comparable aux plus beaux Fossiles du bassin de Paris, à facies littoral, présentant un mélange de formes marines associées à quantité de formes d'eau saumâtre et même d'eau douce. Jusqu'à présent, M. Briart n'a décrit que les Céphalopodes et les Gastropodes du Calcaire de Mons; mais les Lamellibranches sont également nombreux et intéressants; il serait hautement désirable de voir paraître la description de cette classe de Mollusques.

Digitized by Google

3° **La faune type de l'argilite de Morlanwelz** — Cette série est unique; elle a été recueillie par M. Briart lors de la construction du chemin de fer de Mons à Charleroi, dans la tranchée de la gare de Morlanwelz.

Cette faune est celle de l'Ypresien supérieur et est très riche en magnifiques empreintes de l'horizon des sables de Cuise du bassin de Paris. Cette faune n'a point fait l'objet d'une publication spéciale, mais la liste des espèces en a été donnée par M. Briart.

Les monographies des faunes de la Meule de Bracquegnies et du Calcaire grossier de Mons accompagnent les collections.

M. **Émile Vincent**, de Bruxelles, qui étudie avec tant de succès la faune du Tertiaire de Belgique, a exposé, comme spécimen de ses collections, la série des Fossiles du Landenien inférieur, provenant des principaux gîtes connus : tuffeau de Lincent; grès glauconifère d'Angres et d'Élouges; grès fin glauconifère de Chercq.

Cette série est d'un haut intérêt et nous fait reconnaître la richesse et la diversité des formes de Gastropodes et de Lamellibranches recueillis.

M. É. Vincent possède, de chaque étage de l'Éocène de Belgique, des séries aussi belles et aussi complètes que celle qu'il expose du Landenien.

M. **A. de Grossouvre**, *ingénieur en chef des mines*, à Bourges, a bien voulu nous permettre d'exposer une petite série de Fossiles recueillis par lui dans les Pyrénées et qu'il assimile à certaines espèces connues du Calcaire de Mons. Cette assimilation a été reconnue exacte, et l'on peut considérer comme acquis, après comparaison des formes avec les types du Calcaire de Mons, que l'on rencontre, dans les Pyrénées, des couches marines de l'âge du Calcaire de Mons.

M. **C. Malaise**, *membre de l'Académie de Belgique*, en réponse à une question de concours, expose une série de Fossiles destinée à établir, par l'emploi de la paléontologie, le synchronisme des assises constituant les systèmes cambrien et silurien du Brabant et du Condroz, avec les subdivisions classiques correspondantes.

Ces Fossiles, disposés sur plusieurs rangées, montrent très clairement les relations existant entre les diverses couches fossilifères de Belgique et celles du pays de Galles, c'est-à-dire avec la série typique d'Angleterre.

M. le Dr **Fritsch**, de Prague, a envoyé la belle série de moulages des restes de petits Reptiles (*Stegocephalus*) qu'il a recueillis dans le Permien de la Bohême.

Digitized by Google

Il a ajouté aux moulages, un groupe montrant la restauration de chacune des espèces. Ce groupe, des plus intéressants, est parfaitement réussi et donne véritablement l'impression de vie; il compte certainement parmi les meilleurs essais de restauration qu'il nous ait été permis de voir jusqu'ici.

Le Museum d'histoire naturelle de New-York *(American Museum of natural history)* a fait parvenir un superbe envoi relatif à la paléontologie des États-Unis.

Outre dix magnifiques photographies de l'extérieur et de l'intérieur de l'établissement, la direction du Musée expose des photographies des squelettes d'animaux tertiaires tels que : *Hyrachyus agarius*, *Palæosyops paludosus*, *Metamynodon planifrons*, *Hoplopkoneus primævus*, *Protorohippus venticolus*, *Patriofelis ferox*, *Titanotherium torvum*.

Enfin, les regards s'arrêtent avec grand intérêt sur les restaurations, exécutées par un artiste habile et consciencieux, des animaux suivants : *Mesonyx*, *Elotherium*, *Metamynodon*, *Hyracodon*, *Protoceras*, *Aceratherium*, *Uniatherium*, *Protorohippus*, *Patriofelis* et *Titanotherium*.

Des notices succinctes, mais très clairement rédigées, accompagnent chacune des restaurations.

L'Université de Kansas (*États-Unis d'Amérique*) expose trois photographies de squelettes de grands animaux fossiles américains rencontrés dans le Miocène des Mauvaises terres et qui sont : *Platygonus compressus*, *Aphelops fossiger* et *Oreodon Culbertoni*.

Une belle photographie de la région des « Mauvaises terres » donne une excellente idée du gisement de ces grands Mammifères.

La Société des sciences naturelles de Tarrare a envoyé des spécimens de diverses parties de son activité.

Nous y voyons notamment une bonne série de Fossiles du Jurassique et du Crétacé inférieur de la région, ainsi que des diverses roches et minéraux qu'on y rencontre.

A ces spécimens sont joints des cahiers et autres documents, cartes, etc., relatifs soit à la région de Tarrare, soit à des explorations entreprises par des membres de la Société.

M. le Dr **Erens**, de Fauquemont, dans la vitrine où il expose les diverses roches d'origine scandinave, bretonne, normande, vosgienne et ardennaise provenant des amas de graviers des alluvions anciennes de la Meuse, répandus dans le Limbourg hollandais, nous montre également une importante série de Fossiles de terrains divers, primaires, secondaires, tertiaires et quaternaires, rencontrés parmi les graviers et charriés avec eux. La pièce la plus importante est un fragment de

Digitized by Google

mandibule inférieure humaine, munie de dents, rencontrée dans les amas de graviers et dont M. le Dr Houzé a fait l'étude.

M. le Dr **Pergens**, de Bruxelles, le spécialiste si connu en Bryozoaires, a exposé une importante série de préparations de Bryozoaires du Crétacé du Limbourg, renfermant les types de l'auteur.

Le Musée de géologie de l'École militaire (*professeur : M. le capitaine commandant Cuvelier*), expose une série de belles pièces choisies destinées à l'enseignement; on y remarque des restes de grands Mammifères, de Poissons, des grandes Ammonites du Jurassique, des grandes pièces de Bruxellien, etc. Dans la vitrine est joint le *Précis de géologie* du commandant **E. Cuvelier**, avec l'album de planches qui l'accompagne.

L'Université de Caen, France (**Laboratoire de géologie et de paléontologie**), a envoyé un magnifique et intéressant moulage du *Palagosaurus typus* Bronn., dont le squelette est absolument complet, et provenant du Toarcien inférieur (argile à Poissons) de la Caine (Calvados).

A ce beau spécimen, l'Université de Caen a ajouté des modèles de figures destinées à l'enseignement et obtenues par agrandissement photographique. En outre, M. **A. Bigot**, professeur, a exposé les planches de son *Mémoire sur les Trigonies et les Opis* (Contribution à la faune jurassique de Normandie).

M. le professeur **Claypole** (États-Unis d'Amérique) expose une série de dessins d'ossements de Poissons gigantesques fossiles, provenant du Devonien supérieur de l'Ohio. Ces ossements ont été étudiés et dénommés par M. le professeur Claypole.

M. le professeur **Ch. Brongniart** a envoyé une série de planches d'Insectes fossiles du Houiller de Commentry, qui ont été publiées, avec un important texte, dans le recueil : l'*Industrie minérale de Saint-Étienne*.

Parmi ces planches, on admire la magnifique restauration du *Meganeura Monyi*, sorte de gigantesque Libellule qui, les ailes étendues, mesure 70 centimètres de largeur.

Le Musée géologique de Lausanne (*Directeur : M. E. Renevier*) a fait parvenir une très intéressante collection de fossiles et de *fac-similés*, préparés par M. *H. Lador*, préparateur, destinée à l'enseignement et comprenant les Fossiles caractéristiques de tous les terrains, arrangés, montés et étiquetés aux couleurs conventionnelles arrêtées par les congrès internationaux de géologie.

Enfin, nous avons conservé pour la fin, en raison de sa spécialité, le

Digitized by Google

Musée géologique des bassins houillers belges, à Louvain (*M. Schmitz, directeur*). M. Schmitz a tenu à donner, à sa collaboration à l'Exposition, tout l'éclat désirable.

La pièce qui attire tout d'abord les regards est la magnifique restauration du *Sigillaria Sauveurei* Zeil l'un des principaux Végétaux ayant formé la houille et se présentant comme un arbre de 5 à 6 mètres de hauteur, au tronc droit cannelé, terminé en haut par une élégante touffe de feuilles avec fruits et en bas par une base massive d'où sortent de grosses racines dichotomes garnies de radicelles élargies, destinées à soutenir le végétal à la surface de la vase qui le supportait.

Cette restauration a été exécutée par M. Lefebvre, dessinateur au Musée royal d'histoire naturelle de Bruxelles, sous la direction de M. Schmitz, d'après de nombreux matériaux comprenant une grande partie de la base du tronc, deux attaches au tronc, des racines dichotomes, une quantité de racines (*Stigmaria*) avec radicelles et enfin d'après des feuilles et des fruits.

Le tronc provient du charbonnage de Flénu-Produits près Mons.

Enfin, la restauration a encore été précisée et facilitée par la connaissance d'une magnifique souche (tronc et racines dichotomes), trouvée dans un charbonnage de l'Allemagne et décrite par M. Potonié de Berlin.

Exécutée avec autant d'éléments authentiques, le *Sigillaria Sauveurei* de M. Schmitz prend l'aspect vivant que chacun se plaît à lui reconnaître.

Le reste de l'exposition de M. G. **Schmitz** comprend un magnifique bloc avec empreintes de frondes de Fougères; puis, dans des vitrines, sont classés : 1° les animaux de l'époque houillère, recueillis en Belgique (Poissons, Crustacés et Mollusques); 2° des galets ovoïdes de roches, généralement gréseuses, renfermés dans les couches de houille; 3° de très nombreux *Stigmaria* ou racines de *Sigillaria* avec radicelles.

Cette magnifique série est complétée par de nombreuses photographies, prises en divers points du massif rocheux qui supporte la citadelle de Namur, constitué par les schistes houillers et montrant les principaux cas d'allures, de failles, de plissements et de dislocation de ces couches.

Enfin, des vues et plans du bâtiment destiné aux collections du Musée des bassins houillers de Belgique donnent une excellente idée du nouvel établissement, destiné à l'étude, si utile et si intéressante, de la flore houillère de notre pays.

Pour terminer, comme annexe à la paléontologie, il convient de

Digitized by Google

citer ici le *lithosecteur* de M. **Ad. Piret**, de Tournai, destiné à dégager les Fossiles de leur gangue sans les détériorer. L'appareil, qui a l'aspect et le volume d'une presse à copier ordinaire, se compose d'une vis mue par un volant et portant à l'extrémité des outils interchangeables : burins, poinçons. L'outil, bien dirigé, permet de broyer lentement des roches dures empâtant des ossements ou des coquilles fossiles fragiles, sans briser ceux-ci.

F. — Travaux et publications des sociétés géologiques.

Un assez bon nombre de sociétés s'occupant de géologie et de paléontologie ont répondu à l'appel des organisateurs de la Section des sciences; ce sont :

La Société géologique de France, à Paris, qui nous a envoyé trois magnifiques panneaux de planches de géologie et de Fossiles, tirées de son *Bulletin* et de ses *Mémoires*, ainsi que des spécimens de ces deux publications.

La Société géologique du Nord, à Lille, qui expose un très beau panneau de planches tirées de ses *Annales* et de ses *Mémoires;* plus la série complète des travaux publiés depuis sa fondation.

La Société géologique de Belgique, à Liége, a également envoyé un grand tableau comprenant de nombreux spécimens des planches accompagnant des travaux très divers publiés, ainsi que la collection complète de ses *Annales* (*Mémoires* et *Bulletins*).

La Société belge de géologie, à Bruxelles, a très largement exposé ses travaux et les diverses spécialités qu'elle cultive.

Un très grand panneau renferme la majeure partie des planches publiées, et, parmi celles-ci, on remarque plus spécialement : les beaux dessins qui accompagnent les importants mémoires de M. **L. Dollo**, conservateur au Musée royal d'histoire naturelle de Bruxelles, sur les *Mosasauriens des couches de Maestricht et de la craie phosphatée des environs de Mons* (*Hainaut*), sur les *Poissons dipneustes*, etc.; la *Carte pluviométrique de Belgique*, par M. **Lancaster**, météorologiste inspecteur de l'Observatoire royal de Bruxelles; les *cartes de la dépression médiane de la France*, d'après les données du colonel *Goulier*, mises en rapport avec la géologie, par M. *E. Van den Broeck*, etc.

Les publications de la Société, *Mémoires* et *Bulletin*, ainsi que de nombreux tirés à part complètent cette exhibition.

Digitized by Google

La Société royale malacologique de Belgique, à Bruxelles, a exposé deux panneaux montrant des spécimens des planches de paléontologie publiées par la Société.

G. — Applications de la géologie. (*Hydrologie, recherches d'eaux potables, puits artésiens, matériels de sondages, fondations d'édifices, terrassements, etc.*)

Les publications de la **Société belge de géologie** renferment une très grande quantité de travaux concernant les applications pratiques de la géologie et notamment relatives à l'hydrologie. La plupart de ces travaux sont représentés par des tirés à part, les planches étant comprises dans le panneau général exposé.

Les **Annales de la Société géologique de Belgique**, ainsi que celles de la **Société géologique du Nord**, renferment également de précieux renseignements sur les nappes aquifères artésiennes du pays.

D'autre part, M. **G. Ramond**, de Paris, a envoyé à l'Exposition de très nombreux documents relatifs à l'*Aqueduc de l'Avre* (dérivation vers Paris des sources de la Vigne et de Verneuil); documents comprenant des plans, de nombreuses coupes géologiques, cartes géologiques et photographies prises lors des travaux.

La direction des travaux géologiques du Portugal, à Lisbonne, a également exposé les beaux travaux de M. **P. Choffat** sur le percement du tunnel de Rocio, accompagnés de coupes géologiques et de plans. Rappelons ici que M. **P. Choffat** a publié, dans les **Mémoires de la Société belge de géologie**, un très bon travail sur les *Eaux de Lisbonne*.

Pour ce qui concerne la question des sondages, nous avons d'abord à signaler les appareils envoyés par M. **Didion**, de Bruxelles, en réponse à la question de concours n° 239 libellée comme suit :

Exposer un dispositif d'appareil portatif de sondage, pouvant faire atteindre une pénétration de 15 mètres au plus et permettant la traversée et l'échantillonnage correct des sables boulants ou fortement aquifères.

Un bâti spécial, paraissant très pratique, permet la descente et la montée des tubes, ainsi que l'extraction des échantillons au moyen d'outils divers suivant la consistance des terrains.

Le même constructeur expose également **la sonde à main** construite d'après les indications de MM. *Van den Broeck* et *Rutot*, servant aux levés géologiques et aux reconnaissances de terrains.

Digitized by Google

Sous la sonde à main construite par M. Didion, MM. Van den Broeck et Rutot ont exposé trois feuilles au $^1/_{20\,000}$ de Montenaeken, indiquant, la première, les tracés géologiques d'André Dumont, exécutés sans le secours de sondages; la seconde, le tracé géologique du même territoire obtenu au moyen de sondages à main; la troisième indiquant les rares affleurements visibles, d'une part, les nombreux sondages effectués, d'autre part; observations ayant permis de tracer les limites de la carte n° 2.

Enfin, le **Service de la Carte géologique de Belgique** expose des photographies montrant le maniement, sur le terrain, de la sonde à main et de la grande sonde à tubes et à chevalet, pouvant descendre à une centaine de mètres, toutes deux construites par M. Didion et servant à M. **Mourlon**, directeur du Service, pour le levé géologique de la Campine et de la région nord du pays.

La Compagnie internationale de recherches de mines et d'entreprises de sondages (*ingénieur-conseil :* M. **Delecourt-Wincqz**, à Bruxelles) a organisé une très belle exposition d'instruments et de résultats de sondages.

Nous y voyons notamment des nécessaires portatifs de sondages pour recherches géologiques ou minéralogiques; des réductions de grands appareils de sondage pour puits profonds à grand diamètre, avec installation complète : bâtiments et force motrice, utilisés pour des recherches de pétrole; des modèles, grandeur naturelle, de grands trépans de $0^m,35$ et $0^m,65$ de diamètre; des spécimens de trépans spéciaux pour prendre des carottes orientées.

A ces instruments sont annexés des tableaux avec relevés de puits, coupes, etc., ainsi que de très nombreux échantillons en boîtes ou en carottes, où peuvent se rencontrer des Fossiles ou des minéraux bien caractérisés. On y retrouve, par exemple, un duplicata des échantillons du puits artésien communal de Gand, etc.

Enfin M. **Victor Dotremont**, *sondeur* à Hougaerde, expose une photographie représentant une de ses installations pour creusement de puits artésiens à grand diamètre ou pour recherches de mines.

H. — Matériaux de construction.

(Pierres à bâtir, marbres, ardoises, pavés, ballast, terres à briques, etc.)
(Voir catalogue spécial, qui paraîtra ultérieurement.)

Digitized by Google

GÉOGRAPHIE.

La géographie est, tout d'abord, dignement représentée par l'**Institut cartographique militaire** (*Directeur : M. le général Hennequin*, La Cambre, Bruxelles) qui expose, d'une manière très large et très accessible, les nombreuses publications si appréciées du monde savant.

On y remarque notamment :

1° La carte de la Belgique, au $^1/_{40\,000}$, complète. C'est sur ce canevas topographique qu'est imprimée la carte géologique.

2° Un grand fragment, renfermant Bruxelles, de la carte de la Belgique à l'échelle du $^1/_{20\,000}$. Le pays entier est publié à cette échelle.

3° Des fragments de la carte de la Belgique à l'échelle du $^1/_{10\,000}$.

4° De nombreux tirages, effectués dans des buts différents, de la Belgique au $^1/_{160\,000}$.

5° De très nombreux tirages de cartes de la Belgique à plus petite échelle que le $^1/_{160\,000}$.

6° Deux provinces (Flandre occidentale et province de Liége), à l'échelle de $^1/_{100\,000}$.

7° Un spécimen de la carte géologique au $^1/_{40\,000}$.

8° Un spécimen des cartes géologiques d'André Dumont, au $^1/_{160\,000}$ (sol et sous-sol).

9° Des reliefs au $^1/_{20\,000}$ (Liége et Namur), $^1/_{10\,000}$ (environ de Bruxelles) et au $^1/_{160\,000}$ (carte de la Belgique).

10° Une série rétrospective d'anciennes cartes du pays (cartes de terrains, etc.)

De très nombreux albums de cartes complètent cette très importante exposition.

Le Service géologique des États-Unis d'Amérique et le **Service géologique du Japon** exposent de très intéressantes séries de cartes topographiques avec cartes géologiques.

La Société de géographie de Paris a envoyé une belle carte de l'Afrique au $^1/_{10\,000\,000}$, ainsi que la série de ses publications : Collection des *Bulletins* de la Société et les rapports annuels sur les progrès de la géographie par M. C. Mannoir.

M. **A. Delebecque**, hydrographe français, expose son important *Atlas des lacs français*, bel ouvrage couronné par l'Académie des sciences de Paris et par la Société de géographie de Paris.

Digitized by Google

Digitized by Google

LISTE GÉNÉRALE

DES

EXPOSANTS DE LA CLASSE 83

(GÉOLOGIE)

DANS LA SECTION DES SCIENCES

A L'EXPOSITION INTERNATIONALE DE BRUXELLES, EN 1897

A. — Phénoménes géologiques et de géographie physique.

Photographies, dessins, modèles réduits, spécimens naturels relatifs aux phénomènes susdits.

1. — STRUCTURE DES ROCHES.
2. — ÉROSIONS ET DÉPÔTS CORRESPONDANTS.
3. — PHÉNOMÈNES GLACIAIRES.
4. — SÉDIMENTATION.
5. — PHÉNOMÈNES SISMIQUES.
6. — PHÉNOMÈNES VOLCANIQUES.
7. — GROTTES ET CAVERNES.
8. — PHÉNOMÈNES D'ALTÉRATION.

BELGIQUE. Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie, A^8, p. 213.
— Société géologique de Belgique, A^8, p. 213.
— Laboratoire de minéralogie de l'Université de Gand, A^1, p. 206; A^4, p. 210.
ÉTATS-UNIS. United States Geological Survey, A^1, p. 208; A^2, p. 208; A^3, p. 209; A^4, p 210; A^6, p. 212; A^7, p. 212.
FRANCE. Société géologique de France, A^5, p. 210; A^8, p. 213.
— Société géologique du Nord, à Lille, A^8, p. 213.
ITALIE. Société géologique d'Italie, A^5, p. 210.
PORTUGAL. Direction des travaux géologiques du Portugal, A^3, p. 209; A^4, p. 210.

ANDREAE, de Hildesheim, A^6, p. 211.
CORNET, J., de Mons, A^1, p. 207.
DUPONT, É., de Bruxelles, A^7, p. 213.
FLAMACHE, A., de Bruxelles, A^7, p. 213.
GÉRARD, L., de Bruxelles, A^5, p. 211.
GOSSELET, J., de Lille, A^8, p. 213.

Digitized by Google

KRANTZ, F., de Bonn, A^1, p. 207; A^2, p. 208.
LADRIÈRE, de Lille, A^4, p. 210.
MARTEL, E.-A., de Paris, A^7, p. 212.
PIERPONT, E. (DE), de Rivière (Namur), A^7, p. 213.
RENARD, A., de Gand, A^1, p. 207.
RUTOT, A., de Bruxelles, A^8, p. 213.
STAINIER, X., de Gembloux, A^1, p. 207; A^2, p. 208; A^7, p. 213; A^8, p. 213.
STURTZ, B., de Bonn, A^1, p. 207; A^4, p. 210.
TRUTAT, de Toulouse, A^2, p. 208; A^3, p. 209; A^7, p. 212.
VAN DEN BROECK, E., de Bruxelles, A^2, p. 209; A^6, pp. 211-212; A^7, p. 213; A^8, p. 213.

B. — Appareils et dispositifs de géologie expérimentale.

MEUNIER, Stanislas, de Paris, p. 213.

C. — Cartes géologiques d'ensemble ou détaillées. Services géologiques. Cartes agronomiques.

ANGLETERRE (Geological Survey of England, Wales, Scotland and Ireland), p. 215.
AUTRICHE (k. k. geologische Reichsanstalt), p. 216.
BELGIQUE (Société géologique de Belgique), p. 216.
— (Laboratoire de minéralogie et de géologie de l'Université de Gand), p. 220.
Service géologique d'Espagne, p. 220.
— des États-Unis d'Amérique, p. 214.
— de New-Jersey, p. 215.
— de France, p. 220.
— d'Italie, p. 222.
— du Japon, p. 223.
— du Portugal, p. 223.
— de Russie, p. 223.
— de Suisse, p. 224.

CAREZ, L., de Paris, p. 221.
CHOFFAT, P., de Lisbonne, p. 223.
DELGADO, J., de Lisbonne, p. 223.
DOLLFUS, G., de Paris, p. 221.
FALLOT, E., p. 221.
GOSSELET, J., de Lille, p. 221.
LADRIÈRE, de Lille, p. 221.
MURRAY, J., d'Édimbourg, p. 220.
PITTMAN, Nouvelle-Galles du Sud, p. 216.
RENARD, A., de Gand, p. 220.
RENEWER, E., de Lausanne, p. 224.
ROUVILLE (DE), de Montpellier, p. 221.
RUTOT, A., de Bruxelles, pp. 217-220.
SACCO, F., de Turin, p. 222.
VAN DEN BROECK, E., de Bruxelles, pp. 220, 221, 222.
VASSEUR, G., de Marseille, p. 221.
WUHRER, de Paris, p. 222.

Digitized by Google

D. — Minéralogie et cristallographie.

BELGIQUE. Laboratoire de minéralogie de l'Université de Gand, p. 224.

BAYET, E., de Bruxelles, p. 225.
CROCQ, Dr, de Bruxelles, p. 225.
DUBOIN, de Paris, p. 225.
KORTSCHAKOFF-SIVITSKI, de Saint-Pétersbourg, p. 226.
KRANTZ, F., de Bonn, p. 225.
STURTZ, B., de Bonn, p. 225.

E. — Paléontologie.

BELGIQUE. — Musée géologique de l'École militaire, p. 232.
— Musée géologique des bassins houillers belges, à Louvain, p. 233.
ÉTATS-UNIS. — Museum d'histoire naturelle de New-York, p. 231.
— Université de Kansas, p. 231.
FRANCE — Université de Caen, p. 232.
— Société des Sciences naturelles de Tarrare, p. 231.
SUISSE. — Musée géologique de Lausanne. p. 232.

BAYET, E., de Bruxelles, pp. 226-227.
BIGOT, A., de Caen, p. 232.
BRIART, A., de Mons, p. 229.
BRONGNIART, Ch., de Paris, p. 232.
CLAYPOLE, États-Unis, p. 232.
DAIMERIES, A., de Bruxelles, p. 229.
DELHEID, Ed., de Bruxelles, pp. 227-228.
ERENS, A., de Fauquemont, p 230.
FRITSCH, de Prague, p. 230.
GROSSOUVRE (DE), de Bourges, p. 230.
KRANTZ, F., de Bonn, p. 228.
MALAISE, de Gembloux, p. 230.
PERGENS, E., de Bruxelles. p. 232.
PIRET, A., de Tournai, p. 234.
STURTZ, B., de Bonn, p. 228.

F. — Travaux et publications de sociétés géologiques.

BELGIQUE. — Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie, p. 234.
— Société géologique de Belgique, p. 234.
— Société royale malacologique de Belgique, p. 235.
FRANCE. — Société géologique de France, p. 234.
— Société géologique du Nord, à Lille, p. 234.

G. — Applications de la géologie.

BELGIQUE. Service géologique de Belgique, p. 236.
— Compagnie internationale de recherches de mines et d'entreprises de sondages, p. 236.

Digitized by Google

BELGIQUE. Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie, p. 235.
— Société géologique de Belgique, p. 235.
PORTUGAL. Direction des travaux géologiques du Portugal, p. 235.

CHOFFAT, P , de Lisbonne, p. 235.
DELECOURT-WINCQZ, de Bruxelles, p. 236.
DIDION, J., de Bruxelles, p. 235.
DOTREMONT, V., de Hougaerde, p. 236.
MOURLON, M , de Bruxelles, p. 236.
RAMOND, G., de Paris, p. 235.
RUTOT, A., de Bruxelles, p. 235.
VAN DEN BROECK, E., de Bruxelles, p. 235.

H. — Matériaux de construction.

(Voir le Catalogue détaillé, à paraître ultérieurement.)

Géographie.

BELGIQUE. Institut cartographique militaire de Bruxelles, p. 237.
FRANCE. Société de géographie de Paris, p. 237.
ÉTATS-UNIS. Service géologique des États-Unis d'Amérique, p. 237.
JAPON. Service géologique du Japon.

DELEBECQUE, A., de Genève, p. 237.

Digitized by Google

MÉMOIRES

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

(BRUXELLES)

Tome onze

ANNÉE 1897

BRUXELLES

HAYEZ, IMPRIMEUR DES ACADÉMIES ROYALES DE BELGIQUE

112, rue de Louvain

Digitized by Google

Digitized by Google

MÉMOIRES
DE LA
SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, DE PALÉONTOLOGIE & D'HYDROLOGIE
BRUXELLES
TOME XI — ANNÉE 1897

LES ORIGINES
DU
QUATERNAIRE DE LA BELGIQUE

PAR
A. RUTOT

Planche I

PREMIÈRE PARTIE

L'Epoque flandrienne, sa chronologie, ses sédiments et les conséquences de leur étude

INTRODUCTION

Le terme « Flandrien » a été créé en 1885 par M. Van den Broeck et par moi pour dénommer une vaste étendue de dépôts compris jusque-là dans le « sable campinien » de Dumont.

C'est à la suite de mes premiers levés géologiques dans la Flandre occidentale, aux environs de Thielt et de Thourout, que j'ai reconnu qu'il n'était pas possible de conserver au Campinien de Dumont son intégrité.

Je fis part de ces observations à mon collègue M. Van den Broeck, qui en avait déjà rassemblé de semblables aux environs d'Anvers, et nous nous mîmes d'accord pour reconnaître que le Campinien de Dumont renfermait au moins deux dépôts distincts.

Digitized by Google

En effet, l'illustre géologue, dans la légende de sa Carte du sol, classe comme suit les dépôts quaternaires, en partant du haut :

δ3 Limon hesbayen,

δ2 Sable campinien,

δ1 Sables et cailloux.

D'après ce classement, le Campinien était considéré comme le terme moyen du Quaternaire.

Or, mes levés dans la Flandre me montraient clairement que le « sable campinien », qui constitue presque partout le sol, forme, non pas le terme moyen du Quaternaire, mais bien le sommet de ce groupe, attendu que sur de vastes étendues on peut constater, soit par affleurements, soit principalement par sondages, la superposition constante du « sable campinien » au limon gris à Hélix et Succinées, qui est le terme le plus important du « limon hesbayen » de Dumont.

D'autre part, dans la Campine limbourgeoise, les sables dits « campiniens » se relient de telle façon aux amas de cailloux de la Meuse qu'on ne peut guère les considérer que comme formant un même ensemble; de plus, ces cailloux des hauts plateaux de la Meuse s'étendent vers l'ouest et viennent ainsi se rattacher aux sables et cailloux qui couronnent les collines de la moyenne Belgique et que nous considérons comme Quaternaire inférieur; il suit de ces observations que le « sable campinien » de Dumont ne constitue plus l'étage moyen du Quaternaire, — cette place étant prise par le limon, — mais qu'il constitue, en Flandre et dans une bonne partie de la Campine anversoise, le terme supérieur du Quaternaire; tandis que dans la Campine limbourgeoise et dans une grande partie de la moyenne Belgique, il forme le terme inférieur de ce même Quaternaire.

Dès lors, un changement dans la nomenclature s'imposait.

Après discussion, nous sommes tombés d'accord, M. Van den Broeck et moi, pour proposer de désigner le « sable campinien » de la Flandre et d'une partie de la province d'Anvers, situé au-dessus du limon gris stratifié, sous le nom d'« assise flandrienne » ou de « Flandrien »; tandis que nous conservions le nom de « Campinien » à l'ensemble des couches inférieures, c'est-à-dire aux limons et aux sables et cailloux.

M. Van den Broeck et moi avons publié dans le *Bulletin des séances de la Société royale malacologique de Belgique* (t. XX, 1885, séance du 1er août) nos nouvelles vues sur le Quaternaire, dans une étude intitulée :

Digitized by Google

Note sur la nouvelle classification du terrain quaternaire dans la basse et dans la moyenne Belgique.

La même année, j'ai reproduit la même classification dans l'*Explication de la feuille de Wacken,* publication constituant le texte explicatif de la feuille de Wacken, du service de la Carte géologique du Royaume, rattaché au Musée royal d'histoire naturelle (échelle $^1/_{20\,000}$); puis, en 1886, j'ai confirmé les mêmes idées dans une note intitulée : *Résultats de l'exploration géologique de la région comprise entre Thielt, Roulers et Thourout* (Ann. de la Société géologique de Belgique, t. XIII, Liége, Mémoires, 1886).

De 1885 à 1894, la question du Flandrien n'a fait aucun progrès et, pour ce qui concerne la nature du dépôt, il était admis que ce terme du Quaternaire était constitué principalement par un sable blanc jaunâtre, grossier, meuble, plus ou moins stratifié, présentant parfois dans sa masse une ou deux zones grisâtres, limoneuses. Enfin, un gravier plus ou moins bien marqué, formé de silex roulés et de gros grains de quartz, à allure rectiligne, peu ravinante, indiquait la limite inférieure de l'assise.

Lors des levés géologiques effectués par moi dans la Flandre occidentale de 1890 à 1894, j'avais reconnu que, dans la région étudiée, le Flandrien ne présentait guère plus de 5 mètres d'épaisseur (environs de Roulers) et, de plus, j'avais constaté :

1° Que la zone limoneuse renfermée dans le sable flandrien existe principalement autour des collines recouvertes de limon gris du Hesbayen et constituait autour d'elles comme une sorte d'auréole;

2° Que le gravier de base du Flandrien est d'autant mieux marqué qu'il avoisine les collines dont le sommet est couronné par des sables et cailloux du diluvium ancien.

Pour ce qui concerne l'origine du dépôt, que divers auteurs croyaient marine, je n'étais personnellement pas disposé à adopter cette manière de voir; le principal caractère : les fossiles, faisait entièrement défaut, et ce que je voyais dans la région étudiée me portait plutôt à considérer le sable flandrien comme un dépôt fluvial.

Ce n'est que depuis 1894 que la question du Flandrien est revenue à l'ordre du jour.

Par suite de l'extension des levés géologiques dans la plaine maritime, dans la région nord des deux Flandres, dans la province d'Anvers et dans le Limbourg, de nouvelles données, obtenues grâce aux milliers de sondages effectués dans les régions ci-dessus énumérées,

Digitized by Google

n'ont pas tardé à affluer; les observations faites d'abord dans la partie centrale de la Flandre occidentale ont pu être rattachées à celles de la plaine maritime; d'anciens documents que l'on ne comprenait pas bien clairement ont été étudiés à nouveau et remis en lumière, de sorte que les idées primitives que l'on se faisait sur la nature et l'origine du Flandrien se sont notablement complétées et, par conséquent, modifiées.

Grâce aux nombreux levés actuellement terminés, la question du Flandrien s'est donc éclairée d'un jour tout nouveau et, en 1895, dans un travail intitulé : *Note sur quelques points nouveaux de la géologie des Flandres* (Bull. Soc. belge de géologie, Mémoires, t. IX, 1895, séance du 29 octobre), j'ai, dans un chapitre intitulé : *IV. Le Quaternaire de la région des collines du nord de la Flandre,* exposé mes idées actuelles sur le Flandrien, idées partagées dans leurs grandes lignes par mes collègues, et particulièrement par MM. Mourlon et E. Van den Broeck, qui effectuent également des levés géologiques dans les régions à sol flandrien.

J'ajouterai que notre proposition de créer le terme « Flandrien » a été adoptée par le Conseil de direction de la Carte géologique détaillée du Royaume.

Quant à notre ancienne proposition de 1885, consistant à nommer « Campinien » l'ensemble des limons, sables et cailloux quaternaires, les connaissances acquises depuis ne permettaient plus de la maintenir actuellement.

Avec notre consentement, ce Campinien, qui renfermait encore trop de termes à distinguer, a été subdivisé en trois assises : le Moséen, le Campinien et le Hesbayen.

Toutefois, à mon avis, le Moséen fait double emploi avec le Campinien et le Hésbayen, et je suis convaincu qu'il sera supprimé dans la suite, car il ne repose que sur une idée théorique et sur l'absence de fossiles (1).

(1) Ces lignes venaient d'être écrites, lorsque M. Mourlon a présenté à l'Académie de Belgique un travail dans lequel il rend compte de ses nouvelles observations par sondages profonds dans la Campine anversoise et limbourgeoise, d'où il résulte que sous le grand amas de cailloux du Campinien, il existe une épaisse couche sableuse qui lui paraît d'origine marine et qui représenterait ainsi le terme le plus inférieur du Quaternaire. Ce terme, inconnu jusqu'alors, viendrait donc prendre la place du *Moséen;* c'est ce que propose M. Mourlon. Le *nouveau Moséen* consisterait donc en une invasion marine locale dans le delta de la Meuse et, de la sorte, les deux termes continentaux du Quaternaire : *Hesbayen* et *Campinien,* seraient encadrés entre deux termes marins : le *Flandrien* et le *Moséen.* (M. Mourlon, *Les mers quaternaires en Belgique, d'après l'étude stratigraphique des dépôts flandriens et campiniens, et de leurs relations avec les couches tertiaires pliocènes.* Bull. Acad. roy. de Belg., 3e série, t. XXXII, 1896.)

Digitized by Google

Dans l'état actuel de nos connaissances, le Quaternaire de Belgique peut être aisément divisé en trois termes, qui sont, en partant du plus ancien :

1° Le *Campinien*, comprenant les sables et cailloux roulés de silex et de roches ardennaises des plateaux de la Meuse, une partie des sables et cailloux des sommets des collines de la moyenne et de la basse Belgique.

Ce terme, qui correspond exactement au *Quaternaire inférieur* de M. Ladrière, ne renferme pas de limons; il est caractérisé par la présence du *Mammouth* et du *Rhinoceros tichorinus*, et par des traces nombreuses et évidentes de l'industrie humaine.

C'est à la base de ce terme géologique que correspond le niveau anthropologique auquel M. E. Delvaux a donné le nom de *Mesvinien* (silex taillés dont la caractéristique est l'utilisation, après adaptation à la main, de tout éclat de forme quelconque).

2° Le *Hesbayen*, comprenant la grande masse des limons de crue, stratifiés, à *Helix hispida*, *Succinea oblonga*, *Pupa muscorum*, avec leurs sables et cailloutis de base : c'est exactement à ce terme que correspond le *Quaternaire moyen* de M. Ladrière.

Bien que l'on ait cité des découvertes d'ossements de Mammouth et de Rhinocéros dans le cailloutis de base des limons, je suis très près de croire que ces ossements proviennent du remaniement de dépôts campiniens par l'arrivée des eaux du Hesbayen.

Toutefois je ne nie nullement que les grands animaux quaternaires aient encore vécu à cette époque, mais la généralité des dépôts limoneux indiquant un régime de crue et d'inondation générale en tous les points couverts par le limon, il est peu probable que les grands Vertébrés cités ci-dessus aient pu vivre dans une région soumise à un tel régime.

D'autre part, il paraît certain que le cailloutis de base du Hesbayen constitue bien un niveau anthropologique.

On rencontre, en effet, à ce niveau, de nombreux éclats de taille accompagnant des haches en amande, du type acheuléen, et surtout des pointes du type moustérien.

3° Le *Flandrien*, dépôt d'origine en grande partie marine, probablement fluviale ou fluvio-marine dans certaines parties du Brabant, du Limbourg et de la province d'Anvers, ou remanié par les vents (dunes, etc.) dans la Campine anversoise (observations de MM. Van den Broeck et Mourlon).

Digitized by Google

Ces données sont dues à la connaissance des facies observés.

Sous la plaine maritime, les dépôts flandriens, recouverts de sédiments souvent imperméables, comme les argiles des polders, et toujours noyés sous le niveau d'eau, ont pu conserver leurs fossiles. Or, ces fossiles, que l'on rencontre en grande abondance dans les sondages profonds, représentent toutes espèces marines, parmi lesquelles on rencontre toutes les formes du rivage actuel, plus certaines formes étrangères, comme *Corbicula fluminalis*.

Le Flandrien du littoral se montre donc d'origine marine en toute évidence et ce mode de formation s'étend aux régions situées en dehors de la plaine maritime lorsque les sédiments acquièrent une grande épaisseur et sont perpétuellement noyés sous le niveau d'eau. Dans ce cas, la sonde, entrant dans le facies sableux normal bien connu, passe insensiblement à des couches coquillières marines.

De nombreux sondages profonds, entrepris soit par des particuliers en vue de se procurer de l'eau, soit par M. Mourlon en vue de connaître la nature et l'âge des couches du sous-sol tertiaire profond du nord de la Flandre, démontrent ce fait pour quantité de points.

Un autre fait nouveau que je viens de constater, c'est la modification qui atteint le facies normal type (environs de Thourout, forêt de Houthulst, etc.) au fur et à mesure qu'on s'avance vers l'ouest, vers la frontière française. A partir du territoire de Langemarcq vers le sud du territoire de Loo et sur celui d'Hoogstaede, de Poperinghe et de Proven, la partie supérieure du Flandrien devient limoneuse, d'abord sur une faible épaisseur, puis sur une épaisseur d'autant plus grande que l'on se rapproche de la frontière française, sans dépasser toutefois $1^{m},50$. Sous ce facies limoneux se développe alors le facies normal sableux, terminé par le gravier de base et reposant souvent sur le limon gris, stratifié, du Hesbayen.

D'autre part, vers le nord de la Flandre, vers Eecloo, par exemple, plusieurs niveaux gris, limoneux, s'intercalent dans le sable normal et le tout passe insensiblement, vers le bas, au facies marin coquillier.

Vers l'est, dans la vallée du Démer, M. Van den Broeck rencontre, dans ses levés, des couches formées d'alternances fines de limon et de sable, avec gravier à la base, reposant parfois sur le limon du Hesbayen et disposées sur les versants des vallées sans dépasser certaines altitudes.

D'après M. Van den Broeck, ces couches, dont la position stratigraphique est celle du Flandrien, pourraient correspondre, soit à des dépôts fluviaux, soit à des dépôts d'estuaires, formés en des points où les

Digitized by Google

cours d'eau venant du continent se jetaient dans la mer flandrienne.

Enfin, M. Mourlon rapporte au Flandrien, dans la Campine anversoise et dans la Campine limbourgeoise, des dépôts sableux remaniés, qui pourraient peut-être représenter les dunes de la mer flandrienne, rendues plus ou moins méconnaissables par des remaniements modernes, naturels ou artificiels.

De tout ceci, il y a donc lieu de retenir qu'il est prouvé :

1° *Que la plus grande partie du Flandrien est d'origine marine;*

2° *Que l'invasion marine, considérable, s'est effectuée après le dépôt des limons du Hesbayen.*

On conçoit donc quel intérêt il y a à déterminer, avec autant d'exactitude que possible, les limites de la mer flandrienne, en raison des conséquences multiples, géologiques et ethnographiques, que l'on peut tirer de la connaissance d'un tel fait.

Ainsi s'explique l'adoption, par la Commission plénière de la Section des sciences de l'Exposition universelle de Bruxelles de 1897, du desideratum n° 219, groupe XXV, ainsi libellé :

Tracer, aussi exactement que possible, l'extension de la grande invasion marine postérieure au dépôt du limon gris stratifié à Hélix et Succinées, qui a déposé les sables et autres sédiments dits « flandriens » et qui semble avoir terminé l'époque quaternaire.

Digitized by Google

EXPOSÉ DES OBSERVATIONS FAITES SUR LE FLANDRIEN.

NATURE, ÉPAISSEUR ET ORIGINE DES SÉDIMENTS.

LIMITES DE LA MER FLANDRIENNE.

I. — Le Flandrien dans la plaine maritime.

Des sondages profonds, dont quelques-uns assez anciens, fournissent des données précises sur le Flandrien constituant le sous-sol de la plaine maritime; mais ces dépôts étant assez compliqués et surmontés des dépôts de la série moderne, que l'on ne connaissait que très imparfaitement jusque dans ces derniers temps, l'ensemble paraissait obscur et les essais de dénomination et de classification se faisaient timidement et avec incertitude.

Depuis que, à la suite de mes levés dans la plaine maritime, j'ai pu dresser l'échelle stratigraphique complète des dépôts se rattachant à la série moderne, j'ai pu reprendre les anciennes données, établir avec sûreté les divisions qu'elles comportent et séparer ainsi la série moderne de la série quaternaire, qui n'est autre que le Flandrien.

Au lieu de passer en revue les données dans l'ordre chronologique de leur apparition, ce qui n'offrirait ici aucun intérêt, je vais le faire d'après l'ordre géographique, en allant de l'ouest vers l'est.

Tout d'abord, pour ne pas nous restreindre à nos seules frontières, rappelons la coupe de trois puits artésiens creusés, deux à l'extrémité ouest de la grande plaine maritime de l'Europe du nord, c'est-à-dire à Calais, et l'autre à Dunkerque.

C'est Meugy, ingénieur en chef des mines, à Lille, qui a publié deux de ces coupes dans son *Essai de géologie pratique sur la Flandre française*.

Digitized by Google

Puits artésien de Calais.

Ce puits a été creusé en 1844 par M. Mulot.

Je crois inutile de transcrire ici la coupe du puits avec l'interprétation qu'en a donnée Meugy; il me paraît préférable d'en donner l'interprétation actuelle :

	1. Sables et graviers rapportés (1)		3m00
Flandrien	2. Sable gris, jaune, bleuâtre, avec coquilles et débris végétaux		20,00
Étage landenien.	3. Argile brune sableuse	0m50	49,65
	4. Cailloux roulés (gros silex), avec veines d'argile	2,65	
	5. Argile brune sableuse	6,25	
	6. Sable verdâtre argileux	0,35	
	7. Sable vert, avec pyrites	2,70	
	8. Cailloux roulés très gros	1,10	
	9. Sable gris verdâtre	10,00	
	10. Sable gris très fin	5,20	
	11. Argile sableuse	0,55	
	12. Sable aggloméré, avec pyrites	0,30	
	13. Sable argileux	1,80	
	14. Argile sableuse compacte, avec pyrites	3,30	
	15. Argile brune sableuse très dure	9,00	
	16. Sable gris verdâtre, argileux	3,30	
	17. Argile brune sableuse	2,40	
	18. Argile avec silex	0,25	
Étage sénonien.	19. Craie blanche friable	8,05	95,65
	20. Craie avec silex épars	83,45	
	21. Craie grise, avec silex	4,15	
Étage turonien.	22. Alternances de marne et de calcaire siliceux gris bleuâtre très dur, avec pyrites. (Fortes toises, bleus, dièves)	122,30	137,59
	23. Alternances de marnes de couleur plus foncée	15,29	
Étage cénomanien.	24. Marne glauconifère (Tourtia)		0,90
Gault et néocomien.	25. Argile brune micacée	4,95	13,61
	26. Argile à grains verts, avec pyrites de fer	1,05	
	27. Argile brune, avec grains de quartz et pyrites	1,80	
	28. Grès à grains fins, très dur, avec points verts de silicate de fer	5,81	
Calcaire carbonifère.	29. Calcaire carbonifère gris compact		26,16
	Total		346,56

(1) Je ne considère pas les 3 premiers mètres comme du terrain rapporté; je crois plutôt qu'il est question du « gravier de Saint-Pierre lez-Calais », qui fait partie de la série moderne.

Digitized by Google

La couche n° 2, sauf peut-être quelques mètres supérieurs appartenant à la série moderne, n'est autre que notre Flandrien qui, sous Calais, aurait donc environ 18 mètres d'épaisseur.

Puits artésien de Saint-Pierre lez-Calais.

M. Gosselet a publié, dans les *Bulletins de la Société géologique du Nord,* la coupe d'un puits artésien creusé en 1892 à l'usine Th. Lefebvre, au faubourg Saint-Pierre, près Calais.

Voici le résumé de cette coupe, avec l'interprétation que je crois pouvoir faire des couches de la série moderne et de la série quaternaire traversées :

Couche de galets de Saint-Pierre			14m00
alr 2	Sable plus ou moins gras	8m00	8,50
	Argile plastique	0,50	
t	Tourbe pure		0,20
Flandrien	Sable grisâtre	0,30	13,30
	Sable verdâtre	2,00	
	Sable gris, avec cailloux à la base	11,00	
Étage landenien	Sable argileux	7,00	22,75
	Argile plastique	9,00	
	Argile sableuse verdâtre	6,75	
Craie blanche			115,90
		Total	174,65

Sous Saint-Pierre, c'est-à-dire vers l'intérieur des terres, le Flandrien n'aurait plus que 13m,30 d'épaisseur.

Puits artésien de Dunkerque.

Je donnerai, comme ci-dessus, le texte de Meugy, avec l'interprétation actuelle des couches :

Moderne	1. Terrain rapporté	6m66
Flandrien	2. Sable fluide	6,66
	3. Sable avec coquilles analogues à celles vulgairement connues sous le nom de Saint-Jacques et renfermant des veines très minces de limon vaseux	7,66
	4. Sable mouvant de couleur noirâtre	5,00
	5. Sable mouvant jaunâtre, mélangé de coquilles brisées	5,66
	6. Sable noirâtre, aussi mêlé de coquilles brisées	4,33
Étage ypresien	7. Glaise compacte (on y a trouvé quelques petits cailloux à la profondeur de 314 à 320 pieds)	80,66
	Total	116,63

Digitized by Google

J'ai ici les mêmes doutes que ceux exprimés pour le puits de Calais, au sujet des premières couches rencontrées.

Les sondeurs ont souvent l'habitude de renseigner, au sommet de leurs sondages, des épaisseurs tout à fait anormales de « terrains rapportés ». Ici encore, je suis convaincu que les $6^m,66$ traversés à partir de la surface du sol, ne sont autres que les terrains de la plaine maritime et représentent l'ensemble des termes de la légende de la Carte géologique au $^1/_{40\,000}$ notés **alr 2** et **alr 1**.

Sous ces sables plus ou moins argileux, de couleur foncée, est venu le sable meuble, fluide, sommet du Flandrien, qui, plus bas, prend son facies coquillier, marin. Je considère donc comme appartenant au Flandrien les couches de 2 à 6 inclus, ce qui donne à ce terme quaternaire, sous Dunkerque, l'épaisseur de $29^m,21$.

Ayant ainsi constaté la présence du Flandrien sous la plaine maritime française, pénétrons maintenant sur notre territoire.

C'est la ville de Furnes qui nous fournit les premiers renseignements :

Puits de la prison de Furnes.

Dans une note récente dont il a déjà été question ci-dessus (1), j'ai donné l'interprétation que j'accorde aux couches rencontrées lors du forage de ce puits, il y a une vingtaine d'années.

Orifice : cote 6 environ.

Terrain remanié			3^m70
Dépôts modernes de la plaine maritime.	**alr 2** (2).	Argile sableuse	1,60
	t.	Tourbe	0,50
	alr 1.	Argile sableuse et sable gris boulant	2,70
	t.	Tourbe	0 80
Flandrien		Sable meuble, avec nombreuses coquilles et sable graveleux à la base	18,20
Étage ypresien.		Argile compacte, avec lit sableux	17,50
		Total	45,00

(1) *Note sur quelques points nouveaux de la géologie des Flandres*, par A. Rutot. (Bull. Soc. belg. de Géol., t. IX, 1895.)

(2) Rappelons ici l'échelle stratigraphique des dépôts modernes de la plaine maritime :

sp. Sable de la plage et galets.

alp 2. Argile supérieure des polders.

alq. Sable meuble à *Cardium*, avec fines linéoles argileuses vers le haut, galets de tourbe et grès paniseliens remaniés vers le bas.

alp 1. Argile inférieure des polders.

alr 2. Alternances très fines d'argile grise et de sable gris, avec lit de *Scrobicularia plana* au sommet, ou sable blanc coquillier.

t. Tourbe pure.

alr 1. Sable fin, plus ou moins argileux, parfois avec lits d'argile.

Digitized by Google

Le Flandrien, facies marin coquillier, a donc, sous Furnes, 18m,20 d'épaisseur.

Grand sondage au Petit-Crocodile.

M. Mourlon et moi avons fait exécuter, pour le levé géologique des planchettes de Middelkerke et de Nieuport, un sondage à environ 2 kilomètres à l'ouest de Middelkerke, le long de la route d'Ostende à Nieuport, au Petit-Crocodile (point d'arrêt du tramway vicinal).

Voici les résultats de ce sondage :

alp 1.	Argile inférieure des polders	1m50
alr 2 — alr 1.	Sable fin et argile sableuse	13,30
Flandrien	Sable meuble coquillier, avec lit d'argile très coquillière et gravier à la base	6,70
Argile ypresienne		1,00
	Total	22,50

Ici, les dépôts modernes d'origine marine, **alr 2** et **alr 1**, ont pris une grande épaisseur aux dépens du Flandrien, dont la puissance n'est que de 6m,70.

Grand sondage a Leffinghe.

M. Mourlon et moi avons fait exécuter, à proximité du village de Leffinghe (sud-ouest d'Ostende), un grand sondage qui nous a donné les résultats suivants :

alp 1.	Argile inférieure des polders	1m50
alr 2 — alr 1.	Sable aquifère	10,70
Flandrien	Sable coquillier et argile coquillière, avec cailloux roulés à la base	12,70
Argile ypresienne		4,50
	Total	29,40

Sous Leffinghe, le Flandrien a donc 12m,70 d'épaisseur.

En continuant vers l'est, nous arrivons au :

Puits artésien d'Ostende.

J'ai déjà eu l'occasion de faire connaître, dans divers travaux, mon interprétation au sujet des couches traversées lors du creusement du puits artésien d'Ostende.

Digitized by Google

Je transcrirai ci-après la dernière interprétation que j'ai récemment donnée dans ma *Note sur quelques points nouveaux de la géologie des Flandres :*

Dépôts modernes de la plaine maritime.	alq.	Sable coquillier		1m60
	alp 1.	Argile inférieure des polders		0,30
	alr 2.	Alternances de sable et d'argile		3,20
	t.	Tourbe		1,35
	alr 1.	Sable argileux		2,71
Flandrien		Sable coquillier, avec argile et gravier à la base		24,34
Étage ypresien.		Argile grise		136,50
Étage landenien.		Sable coquillier	20m50	38,00
		Argile noire lignitifère	7,00	
		Argile grise, avec cailloux à la base	10,50	
Terrain crétacé.	Étage sénonien.	Craie blanche à silex noirs	64,00	66,40
		Marne sableuse glauconifère, avec gravier à la base	2,40	
	Étage cénomanien ?	Argile rougeâtre ou gris jaunâtre, avec sable gris à la base		26,00
Terrain cambrien		Phyllades violets		7,85
		Total		308,25

Sous Ostende, le Flandrien a donc 24m,34 d'épaisseur.

Puits artésien de Blankenberghe.

J'ai également parlé à diverses reprises du puits artésien de Blankenberghe et j'ai donné dans ma *Note sur quelques points nouveaux de la géologie des Flandres* ma nouvelle interprétation, que je transcris ci-après :

Dépôts modernes de la plaine maritime.	alq.	Sable meuble coquillier	2m30
	alp 1.	Argile inférieure des polders	0,60
	alr 2.	Alternances d'argile et de sable fin	1,10
	t.	Tourbe pure	2,00
	alr 1.	Sable plus ou moins argileux	3,50
Flandrien		Sable gris coquillier, avec lit graveleux coquillier à la base	26,50
Étage paniselien.		Sable fin coquillier vers le haut; sable à gros points de glauconie vers le bas	24 00
Étage ypresien.		Argile, sableuse vers le haut, plus pure vers le bas	77,00
Étage landenien.		Sable gris pâle, fin, peu pointillé, aquifère	11,00
		Total	148,00

Sous Blankenberghe, le Flandrien a donc 26m,50 d'épaisseur.

Digitized by Google

Puits foré de Coolkerke.

J'ai donné récemment, dans ma *Note sur quelques points nouveaux de la géologie des Flandres*, l'interprétation des couches rencontrées au puits anciennement foré à Coolkerke, à 4 kilomètres nord-est de Bruges. Voici cette interprétation :

alq.	Sable jaunâtre, demi-fin, avec fragments de calcaire . .		2m00
alr 2.	Sable gris pâle.	4m75	5,15
	Argile tourbeuse	0,40	
Flandrien . .	Sable très coquillier.	7,10	17,40
	Argile gris verdâtre coquillière.	0,80	
	Argile peu coquillière	0,35	
	Sable gris foncé assez fin.	2,35	
	Sable plus grossier, avec débris coquilliers roulés, fragments de grès paniselien et éclats anguleux de silex.	6,80	
	Total.		24,55

Le sous-sol n'a pas été touché ; le Flandrien doit donc avoir, sous Coolkerke, au moins 17m,50.

Nous avons épuisé, pour ce qui concerne la Belgique, les données relatives à la présence du Flandrien sous la plaine maritime.

L'obligeance de notre confrère M. Lorié nous met en mesure d'étendre un peu nos investigations vers la Hollande, grâce aux précieux renseignements qu'il a bien voulu me fournir sur le puits artésien de Flessingue, actuellement en creusement.

Puits artésien de Flessingue.

Dans le but de rechercher de l'eau douce pour le service des locomotives, on creuse à la gare de Flessingue un puits artésien dont les échantillons sont étudiés par M. Lorié.

Notre sympathique confrère a bien voulu me transmettre des renseignements très précis au sujet des couches modernes et quaternaires rencontrées.

Cote de l'orifice : + 3m50 au-dessus de l'A. P.

					Épaisseurs.
Remblai (argile).		de 0m00	à	1m00	1m00
Tourbe mêlée de sable		1,00	à	2,00	1,00
alr 2.	Sable très fin, argileux.	2,00	à	5,00	3,00
	Argile dure, avec sable très fin	5,00	à	6,00	1,00
t.	Tourbe noire, avec argile gris clair . .	6,00	à	8.00	2,00

Digitized by Google

				Épaisseurs.
alr 1.	Argile sableuse gris clair.	8,00	à 9,00	1,00
	Sable blanc, fin, un peu argileux, avec coquilles	9,00	à 11,50	2,50
	Sable tourbeux, coquillier	11,50	à 12,90	1,40
	Sable peu argileux, avec cailloux à la base.	12,90	à 14,00	1,10
FLANDRIEN . .	Sable plus grossier, avec petits fragments de tourbe	14,00	à 17,00	3,00
	Sable beaucoup plus grossier, très coquillier.	17,00	à 17,50	0,50
	Sable argileux et tourbeux.	17,50	à 17,70	0,20
	Argile gris clair, un peu sableuse . . .	17,70	à 20,50	2,80
	Sable fin, argileux, avec quelques grains de glauconie	20,50	à 22,00	1,50

Plus bas, le forage est entré dans un sable gris argileux très coquillier, mais dont les espèces semblent indiquer le Pliocène, peut-être le Poederlien, d'après M. Lorié.

A 30 mètres de profondeur, M. Lorié croit que l'on est entré dans le Pliocène certain.

La coupe résumée du sommet du puits serait donc :

Remblai	1m00
Tourbe actuelle.	1,00
alr 2	4,00
t	2,00
alr 1	6,00
Flandrien	8,00

L'épaisseur du Flandrien sous Flessingue serait donc sensiblement inférieure à celle constatée sous Blankenberghe (8 mètres au lieu de 26m,50). Il est vrai que les dépôts de la série moderne ont ici 14 mètres, tandis qu'ils n'ont que 9m,50 à Blankenberghe.

Telles sont les données que nous possédons actuellement sur le Flandrien situé sous la plaine maritime.

On voit que ce Flandrien présente partout une assez forte épaisseur, suffisante pour qu'en tous les points connus, il repose directement sur les terrains tertiaires, sans autres couches quaternaires plus anciennes intercalées, couches que l'on retrouve en beaucoup de points, hors de la plaine maritime, où la mer flandrienne a moins raviné et où les dépôts flandriens ont une plus faible épaisseur.

On constatera encore que partout où il a été rencontré sous la plaine maritime, le Flandrien présente son facies marin typique, c'est-à-dire vers le haut du sable meuble, gris, assez grossier, vers la partie moyenne des alternances de zones sableuses et limoneuses, et

Digitized by Google

vers la partie inférieure des alternances de couches sableuses et argileuses, parfois même tourbeuses, avec nombreuses coquilles marines parmi lesquelles toutes les espèces de la faune actuelle, et enfin, lit de gravier plus ou moins accentué à la base.

Pour ce qui concerne les zones limoneuses et les zones tourbeuses signalées vers les parties moyennes et inférieures du Flandrien existant sous la plaine maritime, je pense qu'elles doivent leur origine au remaniement, par les eaux de la mer flandrienne, des limons gris quaternaires et des couches tourbeuses qui les recouvraient.

Ainsi que j'ai déjà eu l'occasion de le signaler dans ma *Note sur quelques points nouveaux de la géologie des Flandres* (pp. 304 et 305), de nombreux sondages m'ont montré que la période de dépôt du limon gris du Hesbayen s'est terminée, au moins dans la partie de la Flandre qui avoisine le littoral actuel, par une extension de tourbières dont il ne nous est guère possible de connaître l'importance en raison même de l'énergique et profond ravinement opéré sur ces dépôts, lors de l'invasion de la mer flandrienne (1).

Ce n'est qu'en de rares points, autour du groupe de collines de Maldegem, Ursel, Oedelem, Knesselaere et Somergem, que j'ai pu constater, dans la base du Flandrien, des traces de l'ancienne extension tourbeuse. Le plus souvent, toute la tourbe a été enlevée et alors on la trouve désagrégée, ses débris noircissant la base du Flandrien, parfois sur 1 mètre d'épaisseur.

II. — Le Flandrien en dehors de la plaine maritime.

Le territoire recouvert par le Flandrien, en dehors de la plaine maritime, est incomparablement plus grand que l'étendue occupée par celle-ci; c'est ce que la carte jointe au présent travail permet de constater.

Toutefois, il y a lieu de montrer que, dans les limites assignées à la mer flandrienne, ce sont bien les sédiments flandriens qui constituent ou qui ont constitué le sol. Il y a lieu aussi de faire connaître la nature de ces dépôts flandriens, leur épaisseur et leur distribution.

Partant de la frontière française, comme nous l'avons fait pour

(1) M. E. Delvaux, dans sa carte géologique de Gand-Melle, signale un bon nombre de points où existe, sous le Flandrien, ce lit de tourbe, sommet du limon gris du Hesbayen.

Digitized by Google

l'étude du Flandrien sous la plaine maritime, suivons les dépôts flandriens, d'abord pas à pas dans la région de la Flandre, où j'ai pu personnellement les étudier, grâce au levé de la Carte géologique, puis plus sommairement dans les parties où ils ont été l'objet de levés géologiques de la part de MM. E. Delvaux, Mourlon et Van den Broeck.

On sait que la limite continentale de la plaine maritime est des plus nettes et des plus précises.

Les couches constituant la plaine maritime sont trop récentes — toutes celles qui se trouvent au-dessus de la tourbe ayant été déposées dans les temps historiques, à partir du IVe siècle de notre ère — pour que les influences atmosphériques et l'érosion des eaux superficielles aient pu agir d'une façon sensible sur leur distribution et leur étendue. D'autre part, l'argile joue un grand rôle dans la composition de ces couches, ce qui leur permet de résister d'autant mieux aux influences ravinantes.

Par suite de ces circonstances, les limites de la plaine maritime sont donc, grâce à l'achèvement complet des levés géologiques, parfaitement nettes et connues, de sorte que l'on sait toujours aisément si l'on se trouve à l'intérieur de ces limites ou en dehors.

Cela étant, commençons notre examen méthodique de la région située en dehors de la plaine maritime et recouverte par les sédiments du Flandrien, après avoir toutefois rappelé une observation publiée pour la première fois dans l'*Explication de la feuille de Wacken*, en 1885, et que j'ai eu l'occasion de répéter à plusieurs reprises en des points différents.

Je veux parler d'observations relatives à l'altitude supérieure atteinte par les sédiments flandriens sur les collines de la Flandre.

Dans l'*Explication de la feuille de Wacken*, au chapitre relatif à l'assise flandrienne (p. 37), je dis, en effet : « Le sable flandrien s'étend sur les plaines et s'élève sur le flanc des collines jusque passé l'altitude 35 mètres; quelques parties paraissent même monter jusque 45 mètres; mais il reste, sur leur identité, un certain doute, la faible épaisseur du dépôt ne permettant pas de décider si l'on est en présence de la base du sable flandrien ou de celle du Quaternaire Q1c'. »

Plus tard, en 1886, dans ma note : *Résultats de l'exploration géologique de la région comprise entre Thielt, Roulers et Thourout* (Ann. Soc. géol. de Belg., t. XIII, 1886), je dis au chapitre relatif à l'assise flandrienne : « Le sable flandrien s'élève sur le flanc des collines jusque vers l'altitude 35 mètres; plus haut, sa présence est douteuse. »

Enfin, en 1896, dans ma *Note sur quelques points nouveaux de la géo-*

Digitized by Google

logie des Flandres, parlant du groupe des collines de Maldegem, Oedelem, Ursel, Knesselaere et Somergem, je disais : « Quant au Flandrien, il entoure complètement le massif de collines, mais il ne semble pas qu'il les ait entièrement recouvertes. D'après mes levés, le biseau du Flandrien ne paraît pas s'élever au-dessus de la cote 18 et les sommets auraient ainsi été émergés à l'état d'îles. »

Depuis longtemps donc, j'avais observé que le Flandrien semble s'arrêter à de certaines hauteurs le long du flanc des collines, mais pendant de nombreuses années, l'insuffisance des renseignements géologiques a empêché de tirer de ce fait les conclusions qui sont permises aujourd'hui.

Dans l'exposé qui va suivre, j'aurai donc bien soin d'indiquer toujours, aussi exactement que possible, les cotes d'altitude supérieure des sédiments flandriens.

Nous commencerons notre revue du Flandrien situé en dehors de la plaine maritime par l'étude d'une enclave ou presqu'île dominant la plaine maritime et comprise entre les Moeres, au nord, et la vallée de l'Yser, envahie par les dépôts modernes de la plaine maritime jusque passé la frontière française.

Dans cette région, les dépôts de la plaine maritime ont pour altitude maximum la cote 5.

L'enclave dont il est ici question forme un vaste plateau dont l'altitude moyenne est de 10 mètres au-dessus du niveau de la mer et dont l'altitude maximum atteint la cote 20, à proximité de la frontière française.

Tout ce vaste plateau a été recouvert par les sédiments flandriens, ceux-ci se retrouvant à toutes les altitudes.

C'est sur ce territoire que nous trouvons le passage des sédiments coquilliers marins rencontrés sous la plaine maritime aux sédiments développés principalement en dehors de la plaine maritime.

A Furnes, à 4 kilomètres au nord de la limite sud de la plaine maritime, nous avons vu que le Flandrien accusait une épaisseur de $18^{m},20$.

Au sud, cette épaisseur se réduit très rapidement, au point que vers la partie centrale du plateau considéré, le Flandrien n'a plus guère que quelques mètres d'épaisseur.

Le facies marin coquillier s'est toutefois perpétué jusqu'à cette partie centrale, car à 1 $^1/_2$ kilomètre au nord-ouest de Hoogstaede, un sondage à la cote 8 m'a montré, sous 1 mètre de Flandrien à facies limoneux, deux mètres de Flandrien argilo-sableux, rempli de *Cardium edule*.

Partout dans la région considérée, lorsque l'épaisseur du Flandrien

Digitized by Google

dépasse 2 mètres, l'assise est constituée au sommet par un limon brunâtre noté q4l dans la légende de la Carte géologique au $^1/_{40\,000}$, limon épais d'environ 1 mètre et passant insensiblement vers le bas à du sable jaune, meuble, qui est le dépôt typique, connu depuis longtemps et dont Dumont faisait son « sable campinien ».

En un très grand nombre de points, le Flandrien repose — avec une ligne de démarcation souvent nettement indiquée par un lit de gravier de silex roulés — sur le limon gris stratifié du Hesbayen; aux autres points où le limon gris — qui primitivement devait recouvrir la région d'un manteau plus ou moins uniforme — a été raviné et enlevé par dénudation lors de l'arrivée de la mer flandrienne, les sables flandriens reposent directement sur l'argile ypresienne.

Au nord du plateau considéré, la majeure partie du limon gris a été enlevée; on ne commence à rencontrer celui-ci sous le Flandrien que vers la partie médiane. Au sud, le long de la rive gauche de l'Yser, le limon gris du Hesbayen a été moins raviné; là le manteau est resté à peu près continu et présente, aux points favorables, des épaisseurs de 3 mètres et plus. Ce limon repose toujours, avec un très faible lit de gravier à la base, sur l'argile ypresienne.

Ajoutons que l'influence des pluies s'est vivement fait sentir sur les versants exposés aux vents d'ouest. Les sommets et ces versants sont souvent dégarnis totalement de sable flandrien par lavage et entraînement vers les parties basses, de sorte que le sol est constitué, soit directement par le limon gris du Hesbayen, soit plus rarement par l'argile ypresienne. Dans le cas où c'est le limon gris qui affleure, on remarque communément, disséminés à sa surface, les cailloux de silex roulés de la base du Flandrien.

Continuons notre exploration le long de la frontière française, au sud de la vallée de l'Yser, jusqu'à la vallée de la Lys.

Tout d'abord, sur la rive droite de l'Yser, le terrain reste plat sur une largeur de 3 à 4 kilomètres, puis il commence à s'élever lentement, de manière à constituer une colline au nord de Poperinghe, dont l'altitude maximum atteint la cote 38.

Or, tout autour de ce sommet existe le sable jaune flandrien, avec un assez important cailloutis de base; ce qui me porte à admettre que ce sommet a été entièrement submergé.

Vers la cote 34, j'ai encore constaté $2^m,20$ de sable flandrien avec cailloux roulés à la base, reposant sur l'Ypresien (argile avec lits de sable fin).

Aux alentours du sommet, partout le Flandrien repose directement

Digitized by Google

sur l'Ypresien, alors qu'à mi-côte le limon gris du Hesbayen réapparaît entre le Flandrien et l'Ypresien.

J'attribue ces faits à l'ablation, par la mer flandrienne, des dépôts hesbayens et campiniens (limons, sables et cailloux) qui les couvraient primitivement, la quantité de cailloux roulés qui se remarque à la base du Flandrien constituant originairement la base du Quaternaire ancien et n'ayant pu être totalement dispersée, comme ont pu l'être les sédiments limoneux et sableux.

A 4 kilomètres à l'ouest de Poperinghe s'élève une colline à plusieurs sommets, ceux-ci s'élevant progressivement, en allant du nord au sud, aux altitudes 40, 45, 55 et enfin, au sud-ouest de Poperinghe, à 62 mètres.

Cette colline est constituée au sommet par la partie inférieure du Paniselien, reposant sur le sable ypresien et celui-ci sur l'argile ypresienne.

Cette colline a été primitivement recouverte de dépôts quaternaires; mais là encore le ruissellement a largement accompli son œuvre de dénudation.

Toutefois, dans certains replis de terrains des flancs nord et est, on rencontre encore d'assez nombreux lambeaux de l'ancien recouvrement quaternaire, et ceux qui atteignent les plus hautes altitudes ne dépassent guère la cote 40.

Au sud de Poperinghe commencent à s'élever les contreforts de la chaîne des collines tertiaires, dont l'extrémité occidentale forme le mont de Watten et qui se continue, vers l'est, par la suite des monts Cassel, des Récollets, des Chats, de Boeschepe, Noir, dans la Flandre française, et par les monts Vidaigne, Rouge, Kemmel et Aigu, sur le territoire belge.

On sait, par les travaux de M. Ladrière, que ce géologue a retrouvé vers le sommet de ces monts toute la série de ses assises quaternaires (ergeron, limons du Quaternaire moyen, glaises, sables et cailloux du Quaternaire inférieur).

J'ai pu, de mon côté, commencer l'étude de la base du versant nord de la chaîne, vers Reninghelst, jusque l'altitude 52, et je n'ai plus reconnu l'existence du Flandrien au-dessus de l'altitude 45.

J'ai donc lieu de croire que les sédiments flandriens ne se sont guère élevés plus haut sur ces collines et que le sommet, à partir de la cote actuelle 45, a été émergé et a formé île pendant toute la durée de l'invasion marine flandrienne.

Sur le versant sud de la chaîne de collines, je n'ai pu recueillir,

Digitized by Google

jusqu'ici, de renseignements précis sur les altitudes supérieures atteintes par le Flandrien; mais ce qui est certain, c'est que celui-ci se représente largement — bien que fort dénudé — dans la vallée de la Lys, depuis la frontière française (Armentières), sans interruption, par Warneton, Comines, Wervicq, Menin, Courtrai, Deynze, jusque Gand.

Non seulement les observations sur les bords de la vallée montrent l'existence du sable flandrien, mais des puits artésiens témoignent de son extension en profondeur.

Puits artésien a Armentières.

M. Gosselet donne, dans les *Annales de la Société géologique du Nord*, la coupe d'un puits artésien creusé chez M. Motte-Cordonnier, brasseur à Armentières.

J'interprète la coupe donnée de la manière suivante :

Terres rapportées			4m50
Terre végétale			3,00
Flandrien	Sable mouvant gris-jaune		9,50
Ypresien	Terre glaise bleue		19,00
Landenien	Sable vert	19m50	40,50
	Glaise	21,00	
Turonien	Marne blanche	75,00	106,40
	Glaise verte	19,40	
	Marne grise, avec pierres	12 00	
	Marne grise, avec sable		
	Total		182,90

Si la terre végétale n'est pas due à une alluvion moderne, et si, ce qui est probable, elle est formée aux dépens du sommet du Flandrien, l'épaisseur de celui-ci serait de 12m,50.

Puits artésien de Warneton.

En 1893, un puits artésien a été creusé chez M. Ém. Six, brasseur à Warneton, l'orifice se trouvant à 9 mètres au-dessus du niveau de la Lys. M. Gosselet a donné la coupe de ce puits et il a attribué au terrain moderne les couches que je considère comme flandriennes.

Digitized by Google

Voici l'interprétation que je crois pouvoir donner de la coupe du puits :

FLANDRIEN	Terre végétale	0m50	4m40
	Argile jaune sableuse	2,70	
	Gros sable et gravier	1,20	
HESBAYEN	Argile jaune	12,60	15,10
	Sable grossier	0,50	
	Argile jaune	0,50	
	Sable grossier ferrugineux	1,50	
YPRESIEN	Argile compacte		
	Total		19,50

Il y a lieu de remarquer que les sondeurs notent souvent le *limon* comme *argile;* c'est ce qui est encore arrivé ici.

PUITS ARTÉSIENS A COMINES.

Deux sondages profonds ont été effectués à Comines et les coupes en ont été données par M. Gosselet.

Voici comment j'interprète ces coupes :

1° *Sondage à l'usine Vandervynkele, à Comines, sur le territoire français :*

Terre rapportée			2m00
FLANDRIEN	Terre végétale		3,00
	Sable mouvant gris-jaune		7,00
YPRESIEN	Sable vert avec coquilles	10m00	46,00
	Glaise	36,00	
LANDENIEN	Sable vert pâle	17,00	43,00
	Glaise	26,00	
SÉNONIEN	Craie blanche		42,00
TURONIEN	Marne verte		16,00
CÉNOMANIEN	Gaize sableuse gris verdâtre	5,00	11,00
	Calcaire crayeux	6,00	
	Total		170.00

Ici le Flandrien aurait 10 mètres d'épaisseur;

Digitized by Google

2° *Puits artésien à la distillerie Sainte-Marguerite, près Comines* (territoire belge) :

FLANDRIEN . .	Terre végétale	2m00	8m00
	Sables mouvants	6,00	
YPRESIEN . . .	Terre glaise sableuse	7,50	48,50
	Terre glaise pure	20,50	
	Sable gris	8,00	
	Terre glaise grasse	9,00	
	— — verdâtre	3,50	
LANDENIEN . .	Sable vert.	14,50	39,00
	Terre glaise sableuse.	14,00	
	Terre glaise pure	7,00	
	Terre noirâtre.	3,50	
SÉNONIEN . . .	Marne blanche.	13,50	28,00
	Marne grise	3,00	
	Marne avec *thun*.	4,00	
	Sable pierreux, avec silex noirs	7,50	
TURONIEN ET CÉNOMANIEN.	Gros silex noirs purs.	2,50	34,50
	Diève grasse, avec petits silex.	4,00	
	Diève pure	15,00	
	Diève grise	4.00	
	Terrain verdâtre.	9,00	
CALCAIRE CARBONIFÈRE.	Calcaire très dur.	1,60	4,00
	Calcaire mélangé de terre noire	2,40	
	Total. . . .		162,00

PUITS ARTÉSIEN DE MENIN.

J'ai déjà eu, à diverses reprises, l'occasion de donner la coupe du puits artésien de M. Lannoy-Dupont, brasseur à Menin, creusé par M. le baron O. van Ertborn. L'orifice est situé à la cote 13,50.

Voici, résumée, la coupe du puits, dans laquelle, lors du creusement, M. van Ertborn avait déjà reconnu la présence du Flandrien :

QUATERNAIRE .	Sable flandrien		8m00
	Limon du Hesbayen		12,00
YPRESIEN . . .	Argile plus ou moins sableuse.		48,00
LANDENIEN . .	Sable.	8m50	45,50
	Argile.	37,00	
SÉNONIEN . . .	Craie blanche		20,50
TURONIEN . . .	Craie marneuse	6,00	18,90
	Dièves	12,90	
CÉNOMANIEN. .	Marne grise		3,60
DEVONIEN . . .	Dolomie grenue		
	Total. . . .		156,50

Digitized by Google

Puits artésien de Courtrai.

Dans ma *Note sur l'allure souterraine des couches entre la Lys et la Senne* (Bull. Soc. belge de géol., t. I, 1887), j'ai déjà fourni la coupe du puits artésien de la blanchisserie de M. J. Benoît, à Courtrai, et j'ai appelé l'attention sur la classification des couches supérieures, bien interprétées par MM. Cogels et van Ertborn qui, les premiers, ont publié la coupe de ce puits.

Cote approximative de l'orifice : 15 mètres.

Remblai			0m90
Flandrien	Sable jaune		6,10
Hesbayen	Limon avec cailloux à la base		10,20
Ypresien	Argile sableuse grise	6m90	47,90
	Argile bleu foncé	41,00	
Landenien	Sable glauconifère, verdâtre, fin, fossilifère vers le bas	11,00	47,90
	Argile sableuse verdâtre	11,80	
	Argile pierreuse	25,10	
Sénonien	Craie blanche, avec silex		8,40
Turonien?	Marne bleuâtre		1,70
Devonien	Dolomie grenue, fissurée		5,60
		Total	128,70

Voilà donc l'existence du Flandrien bien démontrée le long de la vallée de la Lys, jusque Courtrai.

Une traversée de Courtrai à Ingelmunster, par Heule et Lendelede, m'a permis de rattacher parfaitement le Flandrien de la Lys à celui de la Flandre centrale.

Faisant une suite naturelle à la chaîne des hautes collines de la Flandre franco-belge, qui se termine par le mont Kemmel, vient alors une nouvelle chaîne de collines de moindre altitude qui continue à suivre pendant 4 à 5 kilomètres la direction primitive ouest-est, tourne ensuite en arc de cercle vers le nord, puis vers le nord-ouest, en passant à l'est d'Ypres, par Zonnebeke, Passchendaele, West-Roosebeek, Staden, et va se terminer au sud de Dixmude.

Mes levés géologiques m'ont permis de suivre en détail l'allure du

Digitized by Google

Flandrien dans toute cette région, au moins entre Ypres et Dixmude.

A l'est d'Ypres, la chaîne de collines passe avec une altitude maximum de 63 mètres.

Entre Ypres et les collines, le Flandrien normal, sableux, meuble, de couleur jaunâtre, reposant le plus souvent sur le limon gris du Hesbayen, est partout assez bien développé. Malheureusement, sur le flanc ouest de la colline, les pluies ont opéré leur œuvre de dénudation et presque tout le sable flandrien a été délavé. Toutefois, il en reste quelques lambeaux qui ne se présentent jamais au-dessus de la cote 45.

Vers Zonnebeke (sommet cote 50) et Passchendaele (sommet cote 55), les observations sont difficiles à faire, à cause de la dénudation; je n'ai guère pu constater jusqu'ici de Flandrien plus haut que la cote 30, mais je ne doute pas qu'il ait monté plus haut.

Le long des collines entre Passchendaele, West-Roosebeek et Staden, quelques lambeaux de sable flandrien bien conservés permettent de faire encore d'utiles observations.

A West-Roosebeek, l'attitude maximum atteint 49 mètres; au Stadenberg, elle est de 45 mètres; or, je n'ai vu nulle part le Flandrien remonter plus haut que la cote 42.

Passé le Stadenberg, les altitudes maxima de la ligne de faîte continuent à s'abaisser : elles descendent à 40 vers Clerken et tombent à 30 à 2 kilomètres du sud-est de Dixmude.

Dans cette région, tout le territoire semble avoir été submergé sous les eaux de la mer flandrienne, sauf quelques petits sommets, qui ne paraissent pas avoir été recouverts.

Le substratum du Flandrien est, le plus souvent, le limon gris du Hesbayen, sauf vers les sommets, où affleure directement le Tertiaire.

Dans la vaste plaine qui s'étend entre la frontière française et la chaîne de collines dont il vient d'être question, la mer a fait une large irruption pendant les temps modernes et les dépôts marins de la plaine maritime s'y sont étendus, constituant le golfe de Loo.

Tout autour de ce golfe, le Flandrien forme un manteau troué en bien des points et laissant souvent percer le substratum : limon gris du Hesbayen ou argile ypresienne.

C'est dans les environs de Loo, à l'extérieur de la plaine maritime, que l'on voit s'effectuer, suivant une ligne à peu près nord-sud, le passage entre le facies occidental du Flandrien à sommet limoneux, et le facies oriental presque uniquement sableux ou avec lentilles sablo-limoneuses dans la masse.

C'est sur le Flandrien que les dépôts modernes de la plaine mari-

Digitized by Google

time reposent ; j'ajouterai de plus que les sondages font assez communément constater l'existence du gravier de base du Flandrien.

Au nord-est de Dixmude commence, vers Ichtegem, un nouveau système de collines dont les points les plus élevés sont situés le long de la bordure sud.

Ces collines se dirigent d'abord de l'ouest à l'est, en passant au nord de Thourout, puis, à 3 kilomètres de cette ville, elles s'infléchissent brusquement vers le sud, où elles jettent vers l'ouest un long promontoire constituant la colline de Hooglede, puis elles reprennent la direction ouest-est, en passant par Coolscamp, Eeghem, elles s'épanouissent vers Thielt en projetant des apophyses vers Pitthem et vers Meulebeke, après quoi elles continuent leur route par Aerseele et Vynckt, où les altitudes disparaissent avant d'avoir atteint Deynze.

J'ai fait partout ce que j'ai pu pour constater l'allure du Flandrien dans la plaine et sur le flanc des collines.

Dans la plaine, depuis Oudenbourg, Ghistelles, Erneghem, Coukelaere, Bovekerke, Cortemarck et Lichtervelde, le Flandrien existe largement répandu, avec son facies normal et ses épaisseurs décroissant à mesure que les altitudes s'élèvent.

Le long de la limite de la plaine maritime, les épaisseurs sont encore considérables; c'est ainsi qu'au sud d'Oudenbourg, un grand sondage effectué pour le levé de la Carte géologique a donné :

GRAND SONDAGE AU SUD D'OUDENBOURG.

Sable flandrien, meuble	8m80
Argile plastique ypresienne	5,60

Au nord de Snelleghem, un autre grand sondage a fourni la coupe suivante :

GRAND SONDAGE AU NORD DE SNELLEGHEM.

Sable flandrien, meuble		5m20
PANISELIEN	Sable glauconifère	10,60
	Argile sableuse	1,40
	Argile plastique schistoïde	4,50

Dès que l'on s'éloigne de la limite de la plaine maritime, l'épaisseur

Digitized by Google

du Flandrien diminue rapidement, et bientôt elle est réduite à quelques mètres, épaisseur plus faible encore sur les versants exposés aux pluies, où le limon gris et le sable ou l'argile ypresienne apparaissent au sol.

Voyons maintenant à quelle hauteur monte le Flandrien sur le flanc des collines dont il a été question ci-dessus.

Au sud d'Ichtegem, l'altitude maximum de la colline est 51 mètres; la cote la plus élevée du Flandrien est 37 mètres.

Au nord de Thourout, les sommets les plus élevés ne dépassent pas 45 mètres; dans la suite d'élévations qui, à l'est de Thourout, descend brusquement vers le sud, les altitudes supérieures ne dépassent pas 50 mètres; telle est aussi la hauteur maximum de la colline de Hooglede.

Or, des recherches attentives faites sur ces divers versants, il résulte que dans les collines de Thourout, le Flandrien ne s'élève guère au-dessus de l'altitude 40 et qu'à la colline de Hooglede, cette altitude ne dépasse guère 35.

Pour ce qui concerne cette dernière cote, je suis d'avis qu'elle est un peu trop basse et que l'isolement de la colline a été cause d'une dénudation plus énergique du Flandrien.

Le long des collines de Coolscamp, Eeghem, Pitthem et Thielt, dont les sommets les plus élevés atteignent respectivement les cotes 48, 50, 56 et 49, le Flandrien monte, dans les cas les plus favorables, jusqu'à l'altitude 45 à 46, avec tendance à abaissement sensible vers l'est, car aux environs de Thielt je n'ai guère vu monter le Flandrien au-dessus de 40.

A Aerseele (maximum 38), le Flandrien monte jusque bien près du sommet, et à Vynckt (maximum 21), la submersion est complète.

Au nord de ce groupe de collines, le Flandrien est largement représenté.

Les sables meubles qui le constituent couvrent, sur plusieurs mètres d'épaisseur, les territoires d'Oudenbourg, Ettelghem, Jabbeke, Vaerssenaere, Saint-André, et l'on arrive ainsi jusque Bruges, où nous possédons des données sur l'épaisseur et la constitution du Flandrien.

Bruges est situé au bord et à l'intérieur de la plaine maritime; la ville est donc bâtie sur le Flandrien.

Nous avons déjà eu l'occasion, dans diverses notes, de fournir des renseignements sur les puits profonds de Bruges.

Le plus ancien, mais le meilleur, parce que nous en possédons une série complète d'échantillons, est celui de Bruges-Bassins.

Digitized by Google

Puits a Bruges-Bassins.

Je reproduis ici la succession des couches.

Cote de l'orifice : + 5.

Flandrien	1. Sable de mer, blanc, grossier, légèrement agglutiné, un peu argileux	4m00	9m40
	2. Sable blanc, grossier, meuble, avec petits éclats roulés de silex blanchi	2,10	
	3. Même sable blanc, très grossier, avec nombreux *Cardium edule* et autres coquilles	0,90	
	4. Sable gris verdâtre, très argileux	1,50	
	5. Même sable argileux gris verdâtre, avec lit de silex irrégulièrement émoussés	0,50	
	6. Sable gris, meuble, assez grossier, avec beaucoup de *Cardium edule. Solen, Mactra, Tellina*, etc.	0,40	
Paniselien	Sables glauconifères, avec grès à grain variable et argilite.		10,45
	Total		19,85

On voit qu'ici encore, au bord de la plaine maritime, le Flandrien présente une assez forte épaisseur (9m,40), mais qu'il possède son facies coquillier marin typique.

Dans la plupart des nombreux autres forages effectués à Bruges, dans l'intérieur de la ville, le Flandrien a montré une épaisseur à peu près constante de 10 mètres.

Aux renseignements déjà fournis, je puis en ajouter un inédit :

Puits foré a la brasserie d'Hoedt, Porte de Gand, a Bruges, près du canal.

Ce puits a été creusé par MM. Behiels frères, dans une cave, à 3 mètres en contre-bas du sol, celui-ci étant à la cote 5.

Voici le détail des couches rencontrées :

	1. Remblai ou sol remanié, sable très grossier, avec débris de briques, coquilles d'eau douce, etc.	de 3m00	à	5m00	2m00
Flandrien	2. Sable pur, meuble, jaune grisâtre, facies typique du Flandrien	5,00	à	6,80	1,80
	3. Lentille de limon gris	6,80	à	7,00	0,20
	4. Sable limoneux	7,00	à	8,20	1,20
	5. Sable grossier, gris, un peu limoneux, avec débris de coquilles marines	8,20	à	10,30	2,10
	6. Sable grossier gris, pur, meuble	10,30	à	12,30	2,00

Digitized by Google

PANISELIEN.	7. Sable fin, gris, glauconifère, micacé, meuble, pur . . .	de 12m30 à 14m00	1m70	16,70
	8. Sable meuble, pur, gris verdâtre, glauconifère, micacé, à grain sensiblement plus gros que le précédent	14,00 à 15,30	1,30	
	9. Sable identique au précédent, mais de couleur moins foncée	15,30 à 17,00	1,70	
	10. Sable grossier, meuble, peu glauconifère, mais avec beaucoup de fragments moins ligniteux	17,00 à 20.90	3,90	
	11. Sable plus fin, micacé, glauconifère, avec quelques points ligniteux.	20,90 à 21,15	0,25	
	12. Sable meuble, peu glauconifère, demi-gros, avec points ligniteux.	21,15 à 29,00	7,85	

Ce puits se résume comme suit, en partant du sol :

Remanié et Flandrien (facies marin)			12m30
Paniselien	P1d.	1m70	16,70
	P1b.	15,00	
Total			29,00

A l'est de Bruges, le Flandrien est donc sensiblement plus épais qu'au nord de cette ville.

Au sud de Bruges, vers Oostcamp, les altitudes de 29 mètres sont submergées.

A l'est de Bruges commence la suite des collines d'Oedelem, Knesselaere, Ursel et Somergem, qui jettent des rameaux au nord vers Adegem.

Comme pour les collines de Thourout et de Thielt, en général les altitudes supérieures se montrent surtout vers le sud.

A Oedelem, l'altitude supérieure est 25 mètres et le Flandrien monte à très peu près jusque 18 mètres. Vers le sud, à 4 kilomètres au sud de Saint-Georges, le Flandrien remonte jusqu'à la cote 25..

A Knesselaere, l'altitude supérieure est 25 et le Flandrien monte jusqu'à la cote 20 environ.

A Ursel, nous avons comme maximum la cote 26, avec le Flandrien montant encore jusqu'à la cote 20.

Enfin à Somergem, où l'altitude maximum est de 29 (à l'ouest du village), le Flandrien ne s'élève plus guère que jusqu'à la cote 15.

Digitized by Google

Le prolongement nord des collines atteint, au sud d'Adegem, la cote 28 et le Flandrien n'y monte que jusqu'à la cote 18.

A Ursel, qui est exactement au sud d'Adegem, le Flandrien monterait donc 2 mètres plus haut qu'à Adegem.

Au nord de ces collines, le Flandrien acquiert rapidement une grande épaisseur et à Seysseele, Maldegem, Adegem, Balgerhoek et Eecloo les épaisseurs sont déjà telles que les sondes à main ne parviennent plus à atteindre le sous-sol.

Une bonne idée de la nature et de l'épaisseur du Flandrien nous est fournie par le puits artésien d'Eecloo, dont j'ai récemment donné la coupe dans ma *Note sur quelques points nouveaux de la géologie des Flandres*.

Puits artésien a Eecloo.

Ce puits a été creusé en 1893, par M. Axer, à la filature de M. Goethals-Goethals, près de la gare d'Eecloo; voici un résumé de la coupe :

Flandrien.	Sable gris clair plus ou moins limoneux et tourbeux vers le haut, grossier, meuble, plus ou moins tourbeux vers le bas, avec lit de gravier coquillier à la base		22m05
Asschien	Argile grise compacte	3m95	7,45
	— glauconifère	2,00	
	Bande noire fossilifère	1,50	
Wemmelien	Sable glauconifère, fossilifère, avec gravier à la base		3,50
Ledien	Banc de grès blanc, fossilifère	0,90	5,00
	Sable pointillé de glauconie	4,10	
	Total		38,00

Enfin, M. Delvaux a bien voulu me transmettre la coupe d'un puits dont il a pu étudier les échantillons, et creusé à *Waerschot*, à 4 kilomètres au sud-est d'Eecloo.

La coupe de ce puits n'ayant pas encore été publiée par M. Delvaux, je me bornerai à constater ici que l'épaisseur observée du Flandrien, constituant le sol, est de 22 mètres.

Nous abandonnerons momentanément la région nord des Flandres pour étudier ce qui se passe au sud des collines d'Oedelen, Knesselaere, Ursel et Somergem.

Nous y voyons une région ondulée partant de Bruges et passant par Assebroeck, Beernem, Saint-Georges, Aeltre, Hansbeke, Nevele et aboutissant à la vallée de la Lys à Deurle.

Sur toute cette région, jusqu'aux altitudes de 25, puis de 20 mètres,

Digitized by Google

comptées sur les versants nord des collines de Thourout et de Thielt, la submersion flandrienne a été complète.

Sauf sur les flancs délavés par les pluies, on rencontre partout le Flandrien avec des épaisseurs d'autant plus grandes qu'on se rapproche de la vallée de la Lys.

Dès Hansbeke, il faut, pour atteindre le sous-sol, traverser de 3 à 4 mètres de Flandrien.

Le long des rives de la Vieille-Caele, le coulage dû à la quantité d'eau renfermée dans le Flandrien empêche d'en connaître l'épaisseur par sondage à main et il en est de même entre la Vieille-Caele et la Lys, et le long de la rive droite de la Lys.

Là, la sonde s'enfonce de 5 et 6 mètres dans le Flandrien sans en atteindre la base.

Nous pourrions donc nous faire difficilement une idée de l'épaisseur exacte du Flandrien dans ces parages si nous n'avions connaissance des résultats de forages entrepris à Zulte et à Maria-Leerne, villages situés tous deux sur la Lys.

Forage a Zulte.

Dans une note intitulée : *Le puits artésien de Zulte* (P.-V. de la Soc. belge de géol., t. V, 1891), j'ai fait connaître la coupe d'un puits foré en 1890 chez M. Alfred Versele, industriel à Zulte, l'orifice se trouvant approximativement à la cote 14.

Toutefois, en 1891, j'étais loin de connaître la constitution du Flandrien telle que je la connais à présent; aussi, trompé par un facies limoneux, j'ai cru alors pouvoir interpréter la coupe de la manière suivante :

Sable flandrien	5m à 6m
Limon gris du Hesbayen avec cailloux à la base .	14 à 15
Argile ypresienne	80m
Sable landenien.	
Total.	100m00

Actuellement, ayant connaissance de la présence de zones limoneuses dans le Flandrien, je considère tout le Quaternaire comme Flandrien et mon interprétation est la suivante :

Sable flandrien, avec zones limoneuses vers la partie moyenne et lit de cailloux à la base.	20m00
Argile ypresienne	80,00
Sable landenien.	
Total.	100m00

Digitized by Google

Ce qui m'a amené à cette conclusion, c'est la coupe, encore inédite, d'un forage exécuté à Maria-Leerne.

Puits foré a Maria-Leerne.

Ce puits a été foré au château d'Oydonck, appartenant à M. le baron t'Kint de Roodenbeke, situé sur un ilot au milieu de la plaine d'alluvions de la Lys.

Ce forage a donné les résultats suivants, d'après les échantillons qui m'ont été communiqués :

Cote approximative de l'orifice : 7m,50.

Flandrien. . .	Sable meuble, jaune	de 0m00 à 12m50	18m00
	Limon gris sableux	12,50 à 13.50	
	Gravier avec beaucoup de *Nummulites planulata* remaniées, *Cardium edule*, constitué de fragments de roches très variées (quartz, silex de toutes couleurs, grès paniseliens, fragments de fossiles silicifiés et de coquilles récentes, etc.) . .	13,50 à 18,00	
Ypresien . . .	Argile grise		
		Total.	18m00

C'est, comme on le voit, la même constitution qu'à Zulte, et ici les échantillons m'ont montré qu'il était bien question du Flandrien sur tous les 18 mètres de Quaternaire. Le facies limoneux du Flandrien s'est montré, sur 1 mètre, à la profondeur de 12m,50 et la présence de *Cardium edule* à la base est une bonne preuve des influences marines.

Notons, en passant, un fait que j'ai pu étudier à loisir dans la boucle de la Lys, sur la rive droite de la rivière, à Deurle. C'est la formation d'un groupe très important de dunes couvrant près d'un millier d'hectares et pouvant atteindre 10 mètres de hauteur au-dessus de la cote 10, qui est la cote du sol naturel.

Ces dunes sont formées par les vents d'ouest, aux dépens de l'immense nappe de sables meubles flandriens située à l'ouest de la Lys. Ces dunes sont couvertes de bois de sapins.

Le long de la rive droite de la Lys, le sable flandrien affleure encore assez largement, mais bientôt la ligne de faîte séparant le bassin de la Lys de celui de l'Escaut étend ses contreforts et le Flandrien, énergiquement battu par les pluies, disparaît rapidement.

Digitized by Google

De Deynze à Gand, le Flandrien envahit toute la rive gauche de la Lys et se rattache ainsi directement à la vaste plaine flandrienne du nord. Il s'étend également sur la rive droite de la Lys, puis il tourne au sud de Deynze pour envahir la vallée de l'Escaut.

Au nord de Gand, nous sommes en pleine mer flandrienne profonde.

Nous avons vu qu'à Waerschoot, au nord-ouest de Gand, le Flandrien a 22 mètres; si nous consultons la série des feuilles de la Carte géologique levées par M. Mourlon, nous constatons qu'à Watervliet, le Flandrien a 26m,50, sous quelques mètres de dépôts de la plaine maritime.

A Bassevelde, le Flandrien a 22m,20 d'épaisseur; à Bouchaute, il a 16m,50; vers Langelede, il a 15m,70; à Zwartenberg, à l'ouest de Stekene, il a 12 mètres.

Dès Stekene, le sous-sol tertiaire (Rupelien) remonte très rapidement, et à l'est de ce village, dans le pays de Waes, le manteau de sable flandrien n'a plus qu'une épaisseur de 2 à 4 mètres.

Même vers le nord, les épaisseurs du Flandrien diminuent à mesure qu'on se rapproche de l'Escaut; c'est ainsi qu'à Kieldrecht, M. Mourlon n'a constaté que 8m,80 de Flandrien.

En nous rapprochant de Gand, nous avons d'abord un renseignement intéressant fourni par le puits artésien de Mariakerke lez-Gand (3 kilomètres nord-ouest de Gand), dont j'ai eu l'occasion de donner la coupe dans ma note intitulée : *Détermination de l'allure souterraine des couches formant le sous-sol des Flandres entre Bruxelles et Ostende* (Bull. Soc. belge de géol., t. I, 1887).

Voici la coupe résumée de ce puits :

Puits artésien de Mariakerke lez-Gand.

Flandrien. . .	Sable gris jaunâtre		6m60
Ypresien . . .	Sable glauconifère, avec Nummulites	45m90	128,40
	Argile	82,50	
Landenien. . .	Sable glauconifère	15,00	40,80
	Argile grise sableuse	25,80	
Turonien . . .	Rabots. — Sable glauconifère, avec silex. . .	10,85	20,20
	Dièves. — Argile et marne	9,35	
	Total.		196,00

Digitized by Google

Puits artésien de Mendonck.

Au nord-nord-est de Gand, un autre renseignement nous est fourni par la coupe du puits artésien du château de Mendonck, coupe encore inédite et dont une très bonne série d'échantillons nous a été communiquée par M. van Overloop.

En attendant une étude détaillée sur les couches rencontrées par ce puits, je crois utile de donner ici l'interprétation à laquelle je me suis arrêté :

Flandrien. . .	Sable blanchâtre à grain demi-fin vers le haut, plus gros vers le bas et graveleux à la base	12m00
Asschien . . .	Argile verte, glauconifère, sableuse et fossilifère à la base.	37,00
Ledien . . .	Sable calcareux avec bancs de grès blancs, *Nummulites variolaria* et gravier à la base	29,00
Paniselien . .	Sable meuble à grain moyen, glauconifère, avec lit de lignite xyloïde en fragments roulés	11,00
Ypresien . . .	Sable fin, gris, glauconifère, avec lits de *Nummulites planulata*	36,00
	Total.	125,00

Il est possible que les 29 mètres de Ledien se décomposent en 26 mètres de Ledien et en 3 mètres de Laekenien, mais ce n'est pas ici le moment de discuter ce point particulier.

Ce qu'il faut retenir, c'est qu'à Mendonck, le Flandrien a 12 mètres d'épaisseur.

Vers le nord-est, nous avons vu que le Flandrien diminue d'épaisseur.

Au sud de Deynze, le Flandrien, contournant les hauteurs de Cruyshautem, envahit la vallée de l'Escaut.

Les levés géologiques effectués dans cette région par M. E. Delvaux fournissent à ce sujet d'intéressants renseignements.

Malgré la dénudation intense qu'il a subi, des lambeaux de Flandrien existent encore épars le long de la rive gauche de l'Escaut.

Le long de la rive droite, où le relief s'accentue vivement et où l'inclinaison des pentes a favorisé l'action ravinante des pluies, les points où le Flandrien a été conservé sont excessivement rares.

Grâce aux levés de M. Delvaux, on peut suivre le Flandrien sur la rive gauche de l'Escaut, successivement sur les territoires des feuilles de Gand, Gavere, Audenarde et Avelghem, et on y voit le Flandrien monter sur les versants est de la crête de partage d'entre Escaut et Lys

Digitized by Google

jusqu'à l'altitude 40 à l'ouest de Gavere, 45 à l'ouest d'Audenarde; tandis qu'on n'en rencontre plus guère que jusqu'à la cote 30 sur la planchette d'Avelghem, bien que la hauteur primitive ait pu atteindre 50 mètres.

De plus, la mer a sans doute envahi la vallée de l'Escaut bien au delà d'Avelghem, car les courbes du niveau de 40 à 50 nous conduisent, par Tournai et Antoing, jusqu'au delà de la frontière française.

A Gand même, le Flandrien peut avoir 8^{m},50 d'épaisseur, si nous interprétons exactement les premières couches rencontrées au puits artésien creusé à l'usine Lousberg, rue Charles-Quint.

Toutefois, immédiatement au sud, à la montagne Saint-Pierre, qui forme éperon au confluent de la Lys et de l'Escaut et sur la rive gauche de l'Escaut, jusque Zwynaerde, les dénudations ont enlevé presque tout le Flandrien et c'est, dans la plaine, le Paniselien qui affleure.

Il n'est cependant pas douteux que toute la colline de Gand n'ait été entièrement recouverte par les eaux de la mer flandrienne, l'altitude maximum de cette colline n'atteignant pas la cote 20.

Il nous reste maintenant à pousser nos études à l'est de Gand, entre cette ville et Termonde.

De ce côté encore, le Flandrien s'étend d'une façon continue au nord de l'Escaut actuel, tandis que son extension au sud de ce fleuve est limitée.

On peut suivre le Flandrien par Gentbrugge, Melle, Quatrecht, Schellebelle, Wetteren, jusqu'à la vallée de la Dendre, dans laquelle l'envahissement marin flandrien a eu lieu comme pour la vallée de l'Escaut.

A *Quatrecht*, un puits creusé chez MM. Bertrand et Desmedt a rencontré quelques mètres de Flandrien reposant sur l'Ypresien.

Pour ce qui concerne *Wetteren*, j'ai déjà eu l'occasion de fournir quelques données dans ma : *Détermination de l'allure souterraine des couches formant le sous-sol des Flandres entre Bruxelles et Ostende.*

Dans un puits artésien creusé chez MM. Heyman et Cie à Wetteren, vers la cote 15, le Flandrien s'est montré épais de 5^{m},30; dans deux autres puits creusés chez M. Mandts, brasseur à Wetteren, on a rencontré 10^{m},20 de Flandrien avec cailloux roulés à la base, reposant sur le Paniselien.

A *Overmeire* (rive nord de l'Escaut), un puits foré est entré d'abord dans 8^{m},10 de Flandrien.

Au nord de l'Escaut actuel, les épaisseurs du Flandrien, d'après les levés avec grands sondages de M. Mourlon, augmentent très rapide-

Digitized by Google

ment et atteignent jusque 24 mètres. Plus au nord encore, les épaisseurs redeviennent moindres.

Passé Cherscamp (rive sud), le Flandrien s'infléchit vers le sud et pénètre largement dans la vallée de la Dendre, à la hauteur d'Alost, où j'ai eu l'occasion de constater sa présence, notamment lors de la construction de la ligne de chemin de fer d'Alost à Opwyck, à la sortie de la ville, après la traversée des alluvions de la Dendre.

Sous l'emplacement même de la ville d'Alost, quelques puits forés que j'ai eu l'occasion d'étudier m'ont fourni des couches quaternaires limono-sableuses, avec gravier à la base, qui constituent de véritables couches d'estuaire, très probablement formées au débouché de la Dendre dans la mer flandrienne.

Au puits artésien de la filature Van der Smissen, les 15 premiers mètres doivent appartenir à ces couches d'estuaire; d'autre part, j'ai pu voir récemment les échantillons du puits de la brasserie Minnaert et de Meester, rue Albert Liénart, à Alost, et c'est par cet examen que j'ai acquis la conviction que ces dépôts peuvent se rattacher au Flandrien.

De même, six sondages effectués par l'Administration des Ponts et Chaussées à la traversée de la vallée de la Dendre, le long du chemin de fer vers Bruxelles, m'ont montré, sous $2^m,50$ d'alluvions modernes plus ou moins tourbeuses, de 6 à 9 mètres de sables avec graviers à la base, reposant sur l'argile ypresienne, et que je crois pouvoir rapporter au Flandrien.

Depuis peu de temps, je suis également convaincu qu'un bras de la mer flandrienne est descendu dans la vallée de la Dendre au sud d'Alost (1) et que, devant Denderleeuw, les eaux marines ont pénétré dans la vallée du ruisseau (de très peu d'importance de nos jours) qui prend sa source vers Ternath et se trouve indiqué sur les cartes sous le nom de Bellebeek.

Non seulement la vallée de ce ruisseau est hors de toute proportion avec le volume d'eau qui y coule ou qui a pu y couler, — la longueur du ruisseau ne dépassant pas 10 kilomètres, — mais j'ai toujours eu l'esprit frappé par les difficultés auxquelles je m'étais buté lors du levé de la planchette d'Assche.

(1) J'ai constaté l'existence de petits lambeaux de sable flandrien reposant soit sur du limon du Hesbayen, soit directement sur du Paniselien ou sur de l'Ypresien à Liedekerke (cote 28), à Impegem (cote 28), à Pamel (entre les cotes 20 et 26), sur la rive droite de la Dendre, et à Okeghem (cote 20) sur la rive gauche. Primitivement, le Flandrien peut avoir poussé jusque Grammont.

Digitized by Google

Continuellement, sur le versant sud de la colline d'Hekelghem-Esschene, vers Teralphene, Lombeek, Ternath, tant au nord qu'au sud du ruisseau et de la voie ferrée, je faisais, pour ce qui concerne le terrain quaternaire, des constatations des plus embarrassantes. Je trouvais là, sur des épaisseurs parfois considérables (plus de 6 mètres), des alternances de sables et de limons, avec gravier à la base, reposant soit sur d'autres limons, soit sur l'Ypresien, et dans mes notes d'excursions, je ne pouvais m'empêcher d'indiquer la ressemblance des zones sableuses avec le « Campinien », c'est-à-dire avec le Flandrien d'aujourd'hui. Une sablière établie à mi-côte (altitude maximum : 38 mètres), le long de la route pavée menant de la gare de Ternath à Assche, m'intriguait toujours vivement.

A mon avis, actuellement tout s'éclaire d'un jour nouveau et ces dépôts, que déjà en 1885 j'indiquais dans mes notes comme « campiniens », c'est-à-dire flandriens, ne sont que des lambeaux du remplissage, par les éléments sableux flandriens, du golfe de Ternath.

Il me faudrait plus de pages que n'en a déjà le présent travail pour exposer la quantité d'observations faites sur cet espace relativement restreint. Je réserverai cet exposé pour une note spéciale qui traitera de l'envahissement, par les eaux flandriennes, de la vallée de la Dendre et de son affluent le Bellebeek.

Je me bornerai, pour le moment, à exprimer ma conviction que la véritable solution de la question du Quaternaire si spécial de la région comprise entre Ternath et Denderleeuw consiste à rattacher ces couches au Flandrien, au lieu de les rattacher au Hesbayen, comme j'avais cru devoir le faire lors de la publication de mes feuilles d'Assche-Anderlecht et Herzeele-Ninove.

J'ajouterai que, au nord et au sud du Bellebeek, les sédiments flandriens s'élèvent sur les versants de la vallée, au moins jusqu'à la cote 40 et peut-être plus haut sur le versant sud.

Ce point établi et le golfe de Ternath constaté, nous voyons le Flandrien remonter, sur la rive droite de la Dendre, le long de la colline de Hekelghem, passer à l'est d'Alost, puis par Herdersem, Vieze, au nord de Lebbeke, par Buggenhout, Londerzeel, Cappelle-au-Bois, pour pénétrer dans la vallée de la Senne.

L'existence du Flandrien au nord de cette ligne est partout constatée par les levés géologiques effectués par M. Mourlon et par des sondages pratiqués soit par des particuliers, soit par M. Mourlon.

Nous avons déjà constaté l'existence de fortes épaisseurs de Flan-

Digitized by Google

drien vers Mendonck, à l'ouest de Stekene et à Kieldrecht, où l'épaisseur diminue.

A Moerbeke, il y en a 6m,50; à Sinay, 8m,50; à Mille-Pommes, 18 mètres; à Lokeren, de 22 à 24 mètres d'épaisseur.

A Saint-Nicolas, le Flandrien n'a plus guère que 2 à 3 mètres d'épaisseur, ainsi que nous l'avions déjà fait pressentir, et cet état de choses persiste pour tout le pays de Waes qui, à l'époque flandrienne, formait un haut-fond très sensible dans la mer.

Le peu d'épaisseur du Flandrien dans le pays de Waes est encore démontré par la coupe du puits artésien de Nieuwkerken, au nord-est de Saint-Nicolas, encore inédite.

Puits artésien de Nieuwkerken.

Ce puits a été creusé fin 1891 par notre confrère M. V. Dotremont, à la brasserie Maes.

Voici la coupe de ce puits, avec l'interprétation que M. Van den Broeck et moi-même, qui avons soigneusement étudié les échantillons, croyons pouvoir en donner :

Flandrien . .	Sable jaune meuble, avec gravier à la base	0m00	à	3m10	3m10
Pliocène . . .	Sable vert avec gravier à la base. . .	3,10	à	10,00	6,90
Rupelien supérieur.	Argile grise	10,00	à	31,75	21,75
	Argile sableuse.	31,75	à	32,50	0,75
	Lit de septaria	32,50	à	32,60	0.10
	Sable meuble avec *Pecten Hoeninghausi*	32,60	à	44,10	11.50
	Lit de concrétions pyriteuses	44,10	à	44,80	0,70
	Sable meuble glauconifère	44,80	à	59,95	15,15
	Argile gris foncé, très sableuse, avec cailloux roulés.	59,95	à	60,70	0,75
				Total. . . .	60,70

Ici le Flandrien n'a donc que 3m,10 d'épaisseur.

Plus au sud, à Termonde, le Flandrien s'épaissit; il a, vers le nord, de 13 à 20 mètres, au sud, jusque 18 mètres, et il renferme sa faune marine; entre Baesrode et Saint-Amand, il a 15 mètres.

A Oppuers, il a une épaisseur de près de 32 mètres; au nord-est de Puers, il n'a plus que 14m,80; plus au nord, vers le Rupel et l'Escaut, les épaisseurs diminuent très rapidement.

Digitized by Google

On voit donc qu'entre le pays de Waes, formant haut-fond, et le rivage, vers Lebbeke, Steenhuffel, Humbeek, il y avait une passe profonde, primitivement vallée d'un important cours d'eau quaternaire envahie par la mer flandrienne.

Plus à l'est, le Flandrien n'a que de 5 à 8 mètres à Willebroeck.

Au sud d'Oppuers. — où le Flandrien a 32 mètres, — il n'a plus que 6m,50 à Malderen, de 3 à 7 mètres aux environs de Londerzeel, 10 mètres aux environs de Cappelle-au-Bois et 12 entre Cappelle-au Bois et Hombeek.

Vers Waelhem, situé à la hauteur de Willebroeck, le Flandrien n'a que 6 mètres et cette épaisseur va encore en diminuant lentement vers le nord, sans tomber toutefois au-dessous de 2 à 3 mètres.

On sait qu'à Cruybeke, Hoboken, Berchem, Anvers, Eeckeren, Cappellen, Brasschaet, et jusqu'à la frontière de Hollande, l'épaisseur moyenne du Flandrien est de 2 à 3 mètres, et ce Flandrien repose directement sur les terrains tertiaires : Poederlien, Scaldisien, Diestien, Bolderien et Rupelien, sans intercalation d'autres couches quaternaires, sauf en de rares points, comme à Lierre par exemple, où du Quaternaire à Mammouth vient s'interposer.

Revenant au sud, nous arrivons à Malines, où le Flandrien peut avoir de 12 à 15 mètres et peut-être plus.

Ainsi que je l'ai dit ci-dessus, vers Cappelle-au-Bois, le Flandrien pénètre assez brusquement dans la vallée de la Senne.

A ce sujet, je dois revenir sur un travail publié dans les *Bulletins de la Société belge de Géologie* en 1892 (t. VI), rédigé en collaboration avec M. Van den Broeck et intitulé : *Résultats géologiques des sondages exécutés entre Bruxelles et le Rupel par les soins de la Commission des installations maritimes de Bruxelles.*

Le canal à élargir part de Bruxelles et aboutit à Boom, sur le Rupel.

Or, ce canal suit d'abord la vallée de la Senne de Bruxelles à Vilvorde et, à partir du Pont-Brûlé, au nord de Vilvorde, il s'engage dans la grande plaine, par Thisselt et Willebroeck.

Un grand nombre de sondages ont été pratiqués sur les deux berges du canal et, dans le travail cité ci-dessus, nous avons fourni des données sur ces sondages et nous avons résumé les observations en une coupe diagrammatique dans laquelle nous avons reconnu :

A. L'alluvion moderne de la Senne, souvent tourbeuse à la base.

B. L'alluvion moderne du Rupel (argile des polders, tourbe et sable).

Digitized by Google

C. L'alluvion ancienne de la Senne, constituée par du sable avec beaucoup de lentilles limoneuses et gravier de roches tertiaires, secondaires et primaires à la base.

D. La nappe quaternaire de la plaine du nord (que nous supposions plus ancienne que l'alluvion *C*), qui est constituée par une masse sableuse avec gravier à la base, renfermant des lentilles limoneuses, surtout vers le sud.

E. Tourbe et limons sableux, sable et cailloux à la base.

F, *G*, *H*. Dépôts tertiaires respectivement asschiens, lediens et ypresiens.

En 1892, nous étions loin d'avoir connaissance de l'extension du Flandrien.

Influencés par la présence des lentilles de limon gris, nous avons rattaché la grande masse quaternaire *D* au limon gris stratifié du Hesbayen.

Or, actuellement, je suis entièrement d'avis que ces dépôts, qui se relient directement et sans interruption au Flandrien du nord et de l'ouest, sont eux-mêmes flandriens.

Je vais même plus loin.

Je n'hésite plus à identifier les couches *C* et *D*, c'est-à-dire à faire du Flandrien ce que j'appelais l'alluvion ancienne de la Senne.

La limite tracée au Pont-Brûlé n'est exacte que pour l'alluvion moderne *A* de la Senne, mais plus bas *D* et *C* ne forment qu'une seule et même couche, montrant ainsi qu'à l'époque flandrienne, Bruxelles port de mer était réalisé de la manière la plus effective qu'il soit possible d'imaginer.

L'emplacement de Bruxelles se trouvait précisément au fond d'un chenal maritime large de 2 à 3 kilomètres, de 20 à 25 mètres de profondeur, au fond duquel se jetait la Senne, chenal qui débouchait dans la mer à Vilvorde.

Ainsi viennent encore s'expliquer certaines coupes qui semblaient avoir reçu une interprétation rationnelle, mais qui cependant avaient toujours gardé un caractère spécial et énigmatique.

Je veux parler notamment de la sablière signalée dans ma *Note sur l'absence de l'étage bruxellien sur la rive gauche de la Senne et sur la présence, dans les environs de Bruxelles, d'une division de diluvium inférieure au limon hesbayen* (Ann. Soc. géol. de Belg., t. IV, Liége, 1877).

A la page 43, je figure la coupe d'une sablière située à la cote 24, sur la rive gauche de la Senne, au sud-ouest d'Over-Heembeek.

Digitized by Google

En 1883, dans mon *Explication de la feuille de Bruxelles*, j'ai reproduit cette coupe (p. 76).

Primitivement, j'avais interprété cette coupe : limon hesbayen avec cailloux roulés à la base, reposant sur diluvium ancien.

En 1883, après avoir revu la coupe à diverses reprises, je reconnais que le limon supérieur est trop impur, trop mélangé de cailloux roulés à toute hauteur dans sa masse pour pouvoir être considéré comme limon hesbayen, et j'en fais, à juste titre, du limon moderne de lavage des pentes, tout en laissant aux sables stratifiés inférieurs leur âge quaternaire ancien.

Aujourd'hui, je me vois forcé de modifier encore cette opinion, et sous le limon moderne de lavage, je vois l'exact équivalent des couches sableuses de la sablière située le long de la route d'Assche à la gare de Ternath, c'est-à-dire que j'y vois un lambeau de Flandrien, de composition semblable à celle indiquée par les sondages effectués le long du canal de Willebroeck.

Des sondages pratiqués pour mes levés, le long de la rive gauche de la vallée de la Senne, m'avaient fait découvrir d'autres lambeaux de couches semblables, et c'est cette disposition qui m'avait amené, dans l'*Explication de la feuille de Bruxelles,* à figurer la coupe diagrammatique au travers de la vallée de la Senne (p. 77), où tout reste exact, sauf l'interprétation de l'âge de l'alluvion ancienne Qlc, que je considère à présent comme flandrien.

Le même diagramme montre la raison pour laquelle on ne retrouve plus de lambeaux flandriens sur la rive droite de la Senne : les alluvions modernes ont pris dans la vallée une position asymétrique par rapport à son axe, de sorte que les sédiments flandriens ont été enlevés à la fois par érosion et par dénudation atmosphérique.

Le Flandrien passe sous l'emplacement actuel de Bruxelles, car tous les puits artésiens creusés dans la vallée nous ont donné la superposition de l'alluvion moderne sur ce que nous avons appelé jusqu'ici l'alluvion ancienne, constituée au nord comme au sud de Bruxelles par les mêmes dépôts sableux blancs, grossiers, avec cailloux roulés de nature très variée à la base.

Au puits artésien de l'usine Rey, à Ruysbroeck, les mêmes dépôts sableux ont également été rencontrés; l'influence flandrienne s'est donc au moins fait sentir jusque-là et a poussé vraisemblablement jusque Hal.

Si nous passons maintenant sur la rive droite de la Senne, nous voyons que de Ruysbroeck à Machelen, les sédiments n'ont pas été

Digitized by Google

conservés pour les causes énoncées ci-dessus, mais à partir de Machelen, ils forment une bordure d'abord étroite et qui s'élargit assez rapidement passé Vilvorde.

Bientôt la limite sud-nord prend la direction ouest-est et, ainsi que j'ai pu m'en assurer par moi-même, le Flandrien passe au nord de Peuthy, Perck, Campenhout, Bueken, pour pénétrer dans la vallée de la Dyle par Velthem, Herent et Wilsele.

Au nord-ouest de cette limite, d'assez fortes épaisseurs de Flandrien sont connues à Eppeghem, Sempst, Weerde, Elewyt, Muysen.

Tous les puits artésiens creusés dans la vallée de la Dyle à Wilsele, au nord de Louvain, indiquent d'abord de fortes épaisseurs de « sables et graviers », exactement comme pour la vallée de la Senne. Le puits artésien de la fabrique de produits chimiques en accuse 8m,65 sous 2m,35 d'alluvion moderne. Le puits artésien de l'usine Bodart et Cie a donné :

ALLUVION MODERNE.	Alluvion argileuse grise	0m55	1m35
	Alluvion argileuse jaune	0,35	
	Tourbe	0,45	
FLANDRIEN.	Sable blanchâtre, grossier, graveleux, renfermant à la partie inférieure beaucoup de silex roulés, de fragments de grès bruxellien et de gros débris de roches primaires		6m75

Au sud de Louvain, l'épaisseur des dépôts attribuables au Flandrien diminue très rapidement; c'est ainsi qu'au Moulin-de-Fer, il n'y en a plus que 1m,40.

Sur la rive droite de la Dyle, le Flandrien a dû pénétrer dans le petit golfe de Kessel-Loo; le puits artésien du château de M. Remy accuse en effet, sous 0m,40 de terre végétale, au moins 1m,95 de sables attribuables au Flandrien.

Plus au nord, à la séparation des vallées de la Dyle et du Demer, à Rotselaer, par exemple, M. Van den Broeck et moi avons constaté des superpositions de Flandrien au limon du Hesbayen.

M. Van den Broeck a fait aussi connaître que le Flandrien entre dans la vallée du Demer. Il s'étend peu le long de la rive gauche qui, du reste, s'élève rapidement, mais il envahit largement la rive droite, ou plutôt il recouvre la région, se reliant directement à la grande nappe flandrienne continue de la Campine anversoise dont l'épaisseur est toujours faible.

J'ai lieu de croire que le tracé actuel de la vallée du Demer entre Louvain et Diest correspond approximativement avec la limite sud de

Digitized by Google

la mer flandrienne, et à Herck-la-Ville, M. Van den Broeck signale l'existence, sur les versants des vallées, de facies continentaux ou d'estuaire, constitués, comme ceux du golfe de Ternath, par des alternances nombreuses de sable et de limon, reposant sur des limons du Hesbayen.

L'invasion marine a, du reste, pénétré plus loin que Diest, car la courbe de niveau de 50 mètres englobe le confluent des deux Geetes et du Demer. Dans la Grande-Geete, les influences marines ont dû pousser jusque bien près de Tirlemont.

On remarquera que, pour les limites de la mer flandrienne fournies depuis les paragraphes relatifs à la vallée de la Senne, j'ai omis de donner des cotes d'altitudes.

C'est que, n'ayant pas personnellement effectué les levés, je n'ai à ma disposition que des renseignements moins détaillés que ceux qui concernent les Flandres.

De plus, le Flandrien encaissé dans les vallées à versants inclinés a subi, depuis son dépôt, des actions érosives et dénudatrices intenses qui font qu'il est assez rare de rencontrer des lambeaux situés sensiblement au-dessus du niveau de la nappe d'alluvions modernes des vallées.

Il semble toutefois que, à partir de Louvain, plus on s'avance vers l'est, plus la hauteur à laquelle monte le Flandrien marin augmente.

Je doute que dans la vallée de la Senne le Flandrien ait atteint la cote 30, et vers Louvain, cette cote ne doit guère être dépassée. D'après M. Van den Broeck, vers Diest, le Flandrien monterait jusque 50 et plus.

Il y aurait peut-être un moyen d'apprécier la hauteur à laquelle a pu atteindre le sommet du Flandrien dans la grande plaine au nord du golfe de la Dyle : ce serait de déterminer la hauteur maximum des lambeaux flandriens sur les flancs des collines de Beersel et de Heyst-op-den-Berg.

Notre collègue M. Mourlon a levé les feuilles de Putte et de Heyst-op-den-Berg, mais avant que les présentes idées se soient révélées.

Sur la colline de Beersel, M. Mourlon indique du Flandrien jusqu'au sommet, c'est-à-dire jusque 50 mètres, mais sur celle de Heyst-op-den-Berg le Flandrien ne dépasse pas 25 mètres.

Je crois que là est la vérité. Pour la colline de Beersel, il y a eu probablement confusion entre les sables flandriens et les sables du Campinien.

Partant de ces données et vu le manque de renseignements précis

Digitized by Google

dans la Campine, dû au non-achèvement des levés détaillés dans cette région, j'ai, pour le tracé du reste des limites de la mer flandrienne, adopté une courbe d'altitude décroissante à partir du nord de la vallée du Demer et descendant insensiblement jusqu'à la cote 15 vers la frontière de Hollande (1), point où se rattache le diluvium sableux de ce pays, auquel Staring a donné le nom de *système Eemien* et qui, d'après M. Lorié, correspond exactement à notre Flandrien.

Nous avons ainsi passé en revue tout le vaste territoire que nous croyons avoir été envahi par les eaux marines à l'époque flandrienne.

Les documents relatifs à la démonstration du fait sont de valeurs diverses.

Au point de vue de l'origine marine du dépôt, la constance du facies sableux, régulièrement stratifié, est d'abord un argument satisfaisant; d'autre part, les documents paléontologiques sont généralement suffisants partout où les sédiments flandriens dépassent l'épaisseur de 10 à 15 mètres. Depuis la fin de l'époque flandrienne, une certaine partie de l'épaisseur des couches a été envahie assez tôt par la nappe d'eau douce phréatique pour que les fossiles aient été mis à l'abri des causes de dissolution, et ils nous ont été conservés.

Lorsque l'épaisseur est faible, comme elle l'est sur tout le vaste haut-fond du sud des Flandres, du pays de Waes et de la Campine anversoise, les eaux de pluie, en s'infiltrant dans le sable flandrien, ont suivi la pente générale et ont pu ainsi, par leur circulation, dissoudre facilement les coquilles, s'il y en a eu, car on peut aussi considérer ces étendues comme de vastes plages sableuses submergées à chaque marée et peu propres à un développement intense de la vie animale.

Enfin, dans les chenaux formés par l'envahissement des vallées des rivières préexistantes, nous constatons la présence de dépôts mixtes, d'alternances de sables purs et de limons, concordant avec le régime des cours d'eau qui venaient s'y déverser.

(1) Au moment de mettre sous presse, M. Mourlon a l'obligeance de me communiquer le résultat d'un grand sondage qu'il vient de pratiquer à la frontière hollandaise, au nord de Meerle, pour le levé de la Carte géologique. Ce sondage est entré dès la surface dans le Flandrien et il n'en a atteint la base caillouteuse qu'à 54m,50. Vers le bas, plusieurs lits coquilliers épais, semblables à ceux rencontrés dans le forage d'Ostende, par exemple, ont été percés. Sous le Flandrien vient le Pliocène supérieur. Cette épaisseur de Flandrien est la plus forte connue jusqu'ici; elle s'est probablement déposée dans un bras important de l'embouchure de la Meuse.

Digitized by Google

Au point de vue de l'étendue occupée par l'invasion marine, je crois que, au moins pour la région comprise entre la frontière française depuis Armentières, jusque Louvain, nous possédons des données sérieuses relativement aux limites de l'invasion et à la hauteur maximum atteinte par les sédiments.

Or, c'est la reconstitution justifiée d'un peu plus de la moitié du tracé des limites.

Passé Louvain, l'incertitude n'est relative qu'aux altitudes et non à la présence des dépôts.

Enfin, pour ce qui concerne la Campine anversoise, nous ne possédons plus que des données générales.

Il faudra donc attendre l'achèvement des levés pour pouvoir tracer les limites vraies de la mer flandrienne, et encore, je doute que ces limites puissent jamais être fixées d'une manière bien positive, vu la faible épaisseur des dépôts, leur état meuble et la facilité avec laquelle ils sont soulevés et déplacés par le vent, qui les entraîne vers l'est et les accumule en dunes.

Parmi ces dunes, il y en aura peut-être de contemporaines du Flandrien, d'autres seront récentes, et il sera probablement bien difficile de les reconnaître l'une de l'autre.

Quoi qu'il en soit, sans entrer dans des détails trop circonstanciés, qui n'auraient pas été à leur place dans ce premier travail, je crois avoir rassemblé un faisceau de faits suffisant pour que la thèse qui vient d'être exposée puisse se soutenir et être prise en sérieuse considération par les géologues.

Je m'empresse du reste d'ajouter que l'idée générale de cette thèse n'est pas nouvelle; plusieurs de nos géologues n'ont jamais abandonné l'idée de l'origine marine du Flandrien, et pour ce qui est de l'étendue et de la continuité du facies, Dumont les avait depuis longtemps reconnus. Dans ses grandes lignes, la limite du *sable campinien* de Dumont correspond approximativement avec celle à laquelle j'arrive par une étude détaillée, entre la frontière française et la vallée du Demer.

Passé Diest, les limites diffèrent; pour ce qui me concerne, j'ai tout lieu de croire que la limite remontait vers le nord-ouest et que la mer formait, en Campine, un grand golfe; tandis que Dumont continue à inscrire sa notation δ^2 en marchant vers l'est, mais en ondulant sa limite, par suite de la présence de ses « sables et cailloux » δ^1.

Digitized by Google

CONCLUSIONS.

I. — Relations du Flandrien et du Hesbayen. — Mouvements du sol. — Reconstitution du réseau fluvial du bassin de l'Escaut pendant le Hesbayen.

Si l'autonomie, l'étendue, la notion de l'origine marine et la position du Flandrien dans l'échelle des dépôts quaternaires indiqués dans les précédents chapitres sont bien l'expression de la vérité, des conclusions importantes peuvent en être tirées concernant la reconstitution de la géographie physique de notre pays pendant les temps quaternaires.

A ce point de vue, la notion même de l'existence d'une mer ayant envahi une grande partie de notre pays vers la fin des temps quaternaires et la fixation des limites de cette mer constituent déjà des connaissances très importantes; mais il en est une série d'autres qui peuvent être acquises en examinant les conséquences de l'arrivée de la mer flandrienne, de son séjour dans notre pays, de son départ et du fait du dépôt de sédiments sur la surface recouverte.

Pour bien comprendre la portée des changements qu'a apportés l'invasion de la mer flandrienne, il faut d'abord se faire une idée de ce qui se passait avant cet envahissement.

Or, pour savoir ce qui se passait, il faut connaître et interpréter comme il convient les dépôts qui ont immédiatement précédé ceux du Flandrien, surtout dans la région couverte par celui-ci.

Actuellement ces dépôts sont bien connus, grâce au levé de la Carte géologique.

Nous savons qu'immédiatement sous les sédiments flandriens vient, non seulement sous la région couverte par ces dépôts, mais sur une étendue beaucoup plus vaste et s'avançant jusque passé la rive droite de la Meuse, une assise limoneuse qui a reçu le nom de *Hesbayen* parce que la Hesbaye est recouverte d'un épais manteau de ce limon.

La masse principale du Hesbayen est constituée par un limon gris à l'état normal, brun plus ou moins clair à l'état altéré ou oxydé et plus ou moins décalcarisé, toujours stratifié, ce limon pouvant être plus ou moins sableux, de manière à présenter tous les intermédiaires entre les états cohérent et plastique jusqu'à l'état friable.

Digitized by Google

La base de ce vaste manteau limoneux — qui peut avoir jusque 15 et 20 mètres d'épaisseur dans la Hesbaye — est partout nettement indiquée par un lit plus ou moins épais de cailloux de silex roulés.

Au sud d'une ligne reliant Tournai, Bruxelles et Maestricht, la masse principale du Hesbayen est uniquement constituée de limon, parfois très sableux à la base, où apparaissent les cailloux roulés de silex.

Au nord de la même ligne, la masse limoneuse se divise plus généralement en deux parties : l'une supérieure, uniquement limoneuse, l'autre inférieure, presque toujours sableuse, à alternances limoneuses.

Toute la masse est stratifiée et, tant au nord qu'au sud de la ligne indiquée ci-dessus, sauf sur les hautes altitudes bordant la Sambre et la Meuse, la partie limoneuse renferme des coquilles terrestres qui sont principalement : *Helix hispida*, *Succinea oblonga* et *Pupa muscorum*.

Tous les géologues sont d'accord pour attribuer une origine fluviatile au limon stratifié du Hesbayen, mais comme les limons ne se disposent pas dans les lits mêmes des fleuves, mais bien sur les espaces bordant leur vallée, lors des crues et des inondations, il s'ensuit que l'origine des limons stratifiés déposés en nappe continue se précise encore et il faut attribuer, en toute évidence, leur formation à des crues simultanées de tous les cours d'eau existant dans la région où ils se sont déposés.

La présence de la faunule toute spéciale de ces limons, citée plus haut, est, du reste, l'une des meilleures preuves que l'on puisse donner de l'origine des limons par voie de grande crue.

En effet, actuellement, les coquilles citées vivent dans les hautes herbes, dans la végétation qui avoisine le bord des cours d'eau.

En cas de crue, cette végétation est lavée par les eaux, les coquilles légères sont emportées d'abord par le courant, puis, les eaux s'épandant hors du lit, les coquilles sont déposées avec les limons sur les étendues inondées.

Mais pour qu'il y ait inondation vaste et persistante, il faut non seulement qu'il y ait longue période pluvieuse, *mais aussi très faible pente à l'écoulement des eaux.*

Or nous voyons les limons monter à de hautes altitudes et, avec un relief du sol tel que celui que nous constatons actuellement dans notre pays, la reproduction du phénomène du dépôt d'un manteau de limon semblable à celui dont nous observons l'existence dans la Hesbaye par exemple, malgré des pluies diluviennes et continues, serait impossible.

En quantité de points de la région recouverte d'épaisses couches de

Digitized by Google

limon, la pente serait trop considérable pour que des inondations actuelles puissent encore déposer des limons.

D'autre part, nous avons montré que le Flandrien, sous la plaine maritime, a coupé net, par le fait de sa forte épaisseur, le manteau de limon gris qui, probablement, avant l'invasion de la mer flandrienne, s'étendait, avec le continent, assez loin au large de la ligne actuelle des côtes.

Pour concevoir possible l'inondation dont nous constatons l'évidente existence, il faut donc que notre pays ait été plus plat qu'il l'est à l'époque actuelle.

La région appelée plaine maritime et une bonne partie des Flandres formaient une vaste plaine, probablement un peu plus élevée au-dessus du niveau de la mer qu'aujourd'hui, tandis que la région de la Sambre et de la Meuse formait des élévations bien moins considérables que celles que nous constatons actuellement. Seules les plus hautes altitudes de l'Ardenne et du Luxembourg jurassique dépassaient sensiblement la plaine, au point de n'avoir pu être recouvertes du manteau limoneux.

Tel a dû être l'aspect du pays pendant la période hesbayenne.

C'est dire qu'il a dû être inhabitable à l'homme et aux Mammifères et dès lors ce ne serait que sur les parties émergées de l'Ardenne et du Luxembourg qu'il faudrait aller chercher leurs traces, pendant le Hesbayen.

Je rappellerai ici que des observations que j'ai eu l'occasion de faire dans la Flandre occidentale et lors des sondages du canal de Bruxelles au Rupel, ont permis de constater l'existence de dépôts tourbeux au sommet du limon gris, ce qui concorde, du reste, avec les traces tourbeuses que M. Ladrière a relevées au sommet de son assise limoneuse du Quaternaire moyen et qu'il interprète, à juste titre, comme représentant les vestiges d'un ancien sol.

De ce fait, il faut conclure qu'avant la fin de la période hesbayenne, les grandes pluies avaient cessé; dès lors, l'inondation totale de la grande plaine n'a plus pu se produire, les eaux sont rentrées dans les principales dépressions et, autour de ces dépressions, dans la région basse, la végétation tourbière a envahi les marais et s'y est développée.

Ainsi s'est produite une première période de tourbières dont il ne nous est guère possible d'apprécier l'importance et la durée, attendu que la plus grande partie de la tourbe amassée a été dénudée et détruite lors de l'envahissement de la mer flandrienne.

Ajoutons ici que c'est peut-être pendant la période sèche qui a mis fin aux inondations et qui a permis aux tourbières de se développer.

Digitized by Google

que s'est produit le phénomène éolien qui a donné naissance au limon jaune, pulvérulent, peu ou point stratifié qui, dans la partie moyenne du pays, vient se superposer à la grande masse du limon gris fluvial.

Les vraisemblances sont pour cette hypothèse, mais aucun fait n'est encore venu, à ma connaissance, apporter la solution du problème.

Nous ne connaissons aucune superposition bien constatée du Flandrien au limon non stratifié, ni de ce limon au Flandrien.

Toutefois, dans la vallée de la Senne, où le limon non stratifié existe, il est des points bas qui ont dû être recouverts par les sédiments flandriens — aujourd'hui délavés par ruissellement — et où nous rencontrons encore le limon non stratifié.

Cette remarque tend donc à confirmer l'antériorité du limon non stratifié au Flandrien.

Nous voici parvenus à l'instant où la mer va faire irruption sur notre territoire et donner naissance à la période flandrienne.

Étant donné l'état continental du pays à la fin de l'époque hesbayenne, pendant l'extension des tourbières, que faut-il pour que la mer puisse y faire une large irruption?

Comme nous ne croyons pas au déplacement du niveau des mers — au moins pour une période géologique aussi proche de la nôtre — un mouvement d'affaissement du sol nous paraît nécessaire.

Ce mouvement a sans doute été lent et progressif. D'abord, la mer a peu à peu envahi la région continentale qui s'étendait au delà de nos rivages, puis elle a continué à pénétrer dans la plaine tourbeuse, qu'elle a affouillée et dénudée en grande partie; puis, avançant toujours, la mer a pénétré dans les vallées des cours d'eau, transformant une partie plus ou moins longue de leur cours en chenaux maritimes.

Nous avons vu la vallée de la Lys approfondie et considérablement élargie jusque passé la frontière française; nous avons vu les eaux marines pénétrant dans la vallée de l'Escaut et transformant celle-ci, depuis Gavere jusque vers Avelghem, en chenal maritime.

Puis est venu le tour de la vallée de la Dendre, transformée en un large chenal depuis le sud d'Alost jusque vers Ninove, avec pénétration des eaux dans la petite vallée du Bellebeek, qu'elle élargit fortement et transforme en un golfe.

Ensuite, la vallée de la Senne est envahie et un chenal large de 2 à 3 kilomètres s'ouvre au sud de Vilvorde jusque Bruxelles, puis s'avance jusque vers Hal.

En même temps, la mer pénètre dans les vallées de la Dyle (où il

Digitized by Google

semble s'établir un chenal large, mais de peu de longueur) et du Démer, où elle entre profondément jusque vers Diest.

Étant donnés l'état continental de la Belgique à la fin de la période hesbayenne et la connaissance de l'étendue et de l'épaisseur des sédiments flandriens, peut-on évaluer la nature et l'amplitude du mouvement du sol ayant causé l'invasion flandrienne?

Prenons un point situé à proximité de la limite sud de la plaine maritime et où nous avons constaté la présence du limon gris stratifié sous quelques mètres de Flandrien.

D'abord, ce point devait se trouver beaucoup moins près du littoral qu'il l'est actuellement; il devait être à une altitude supérieure à celle de la marée haute et nous pouvons supposer qu'il pouvait se trouver à 10 mètres au-dessus du zéro.

Comme rien ne montre que les marées d'alors fussent plus amples que celles de nos jours, pour être atteint par la marée haute, il a donc fallu une première descente de 5 mètres et, pour qu'il s'y soit déposé 5 mètres de sable flandrien, il faut encore ajouter une dizaine de mètres d'affaissement, de sorte que pour un point moyen il a fallu une descente d'au moins 15 mètres.

Plus vers le nord, l'affaissement a dû être plus grand, puisque, sous Blankenberghe, par exemple, la base du Flandrien se trouve vers 35 mètres sous zéro.

Mais on peut attribuer à l'érosion côtière environ 15 mètres, de sorte que, le long du littoral, vers Blankenberghe, le mouvement de descente a pu atteindre 20 mètres.

Moyennant cet affaissement, qui s'est propagé dans le pays, déjà si plat et si peu élevé au-dessus du niveau de la mer, celle-ci a donc pu envahir toute l'étendue signalée ci-dessus et y déposer une couche continue, plus ou moins épaisse, de sable avec lentilles limoneuses, à surface sans doute sensiblement plane.

Quelle a été la conséquence de ce phénomène?

Elle a été l'enfouissement de l'ancien relief du sol sous un manteau de sable, qui cache actuellement à nos yeux les détails de la configuration d'une bonne partie du sol de notre pays pendant le Quaternaire moyen.

Le cours inférieur primitif de nos fleuves et de nos rivières est ainsi caché ou rendu indistinct.

Heureusement, la sonde est venue, dans une certaine mesure, rétablir les notions que nous avions perdues.

Les puits artésiens et les sondages profonds des levés géologiques,

Digitized by Google

en traversant de part en part le Flandrien en de nombreux points, sont venus nous fournir les moyens de reconstituer, par la connaissance des épaisseurs variables du dépôt recouvrant, la direction et l'importance des vallées primitives, actuellement cachées dans le sous-sol.

Or, que constatons-nous en divisant en deux zones, par un trait, l'étendue couverte par les sédiments flandriens : l'une de moins de 10 mètres d'épaisseur, l'autre de plus de 10 mètres, par exemple? Il nous apparaît un tracé figuré sur la planche qui accompagne ce travail et que nous allons ci-après étudier en détail.

D'abord, nous découvrons le long du littoral actuel une large bande à peu près parallèle à ce littoral, où le Flandrien prend brusquement de fortes épaisseurs.

Vers Pervysse (au nord-ouest de Dixmude), une surépaisseur localisée du Flandrien semble amorcer une ancienne vallée de l'Yser.

Immédiatement à l'ouest de Bruges, une profondeur de 15 mètres semble également amorcer l'ouverture d'une ancienne vallée.

De Bruges, la ligne des grandes profondeurs du Flandrien s'incline vers le sud-est en passant par Maldegem, au sud d'Eecloo, de Waerschoot, au nord de Somergem, pour aboutir à Gand, à l'entrée de la vallée de la Lys qui, par le fait, devient bien sur tout son parcours une rivière quaternaire.

La largeur, la profondeur et la longueur occupées dans la vallée par les sédiments flandriens font même supposer l'existence d'un cours d'eau plus important que la rivière actuelle.

Bientôt après, vers l'est, s'ouvre la vallée de l'Escaut, dans laquelle les sédiments flandriens pénètrent largement jusque passé la frontière française.

A l'est, la ligne des grandes profondeurs suit à peu près le cours actuel de l'Escaut; mais directement au nord de Gand, nous constatons subitement une série de grandes profondeurs (22 à 26 mètres).

D'autre part, un haut-fond, constituant le pays de Waes, se montre à l'est à partir de Mendonck, dessinant au nord de la rive inférieure partant de Gand et se dirigeant vers Termonde, une autre rive parallèle, dans la direction de Tamise, tandis que vers le nord, le haut-fond du pays de Waes est terminé par une ligne oblique sud-ouest-nord-est, à peu près symétrique à celle de Bruges à Gand *et formant ainsi, au nord de Gand, un vaste entonnoir très profond, une sorte de golfe, dans lequel venaient se jeter à la fois, à Gand même, la Lys et l'Escaut dont la direction générale actuelle était déjà fixée.*

Mais ce n'est pas tout.

Digitized by Google

Au sud de Termonde, nous voyons le Flandrien entrer largement dans la vallée de la Dendre jusque près de Ninove, montrant qu'à la fin du Quaternaire moyen, la Dendre avait également déjà fixé son cours; de même, nous constatons l'envahissement de la vallée du Bellebeek, ruisseau de nos jours sans importance, mais qui semble en avoir eu une plus considérable pendant le Hesbayen.

Passé la ligne Termonde-Tamise, nous voyons la large vallée partant du fond du golfe de Gand et se dirigeant vers l'est se rétrécir progressivement et, pendant que la rive nord suit une ligne assez régulière jusque vers Aerschot, la rive sud, après quelques ondulations, forme, à l'ouest de Malines, une vaste extension profonde, une sorte de golfe au fond duquel s'ouvre, à Vilvorde, la vallée de la Senne. Nous voyons encore les sédiments flandriens s'engager dans cette vallée jusque près de Hal, indiquant ainsi l'existence propre de la Senne à l'époque du Quaternaire moyen et la concordance de son tracé avec sa vallée actuelle.

A l'est, la rive droite de l'expansion remonte jusqu'au sud-est de Malines, puis le grand sillon suit la vallée de la Dyle et se réduit de manière à ne plus représenter que le tracé de l'ancienne vallée de ce cours d'eau.

A la hauteur de Louvain, la vallée submergée se ramifie : une branche s'engage dans la vallée de la Dyle actuelle, où les sédiments flandriens ont pénétré jusque vers Louvain; une autre ramification pénètre dans la vallée du Démer, où les sédiments marins flandriens semblent avoir pénétré au moins jusque Diest; puis, au nord, s'ouvre une vallée souterraine qui ne concorde avec aucune rivière importante actuelle, mais qui paraît se diriger, par Houtevenne et Westmeerbeek, vers la grande Nèthe actuelle où, au sud de Gheel, nous retrouvons encore de grandes épaisseurs de Flandrien.

Remarquons en passant que tout au moins les données acquises jusqu'à présent ne nous ont pas fait reconnaître l'ouverture d'une vallée submergée concordant avec le confluent actuel des deux Nèthes vers Waelhem; il se peut toutefois qu'il en soit autrement.

Quelles conclusions peut-on tirer de cet ensemble de faits?

C'est que le cours inférieur de certaines rivières était, à la fin du Quaternaire moyen, bien différent de ce qu'il est maintenant.

Nous avons vu la Lys et l'Escaut se jeter, à Gand, au fond d'un golfe *et nous voyons maintenant qu'à l'est de ce golfe venait déboucher la majestueuse vallée d'un gigantesque Rupel constitué par l'ensemble des rivières : la Dendre, la Senne, la Dyle, le Démer et les Nèthes; ce Rupel coulant dans*

Digitized by Google

une vallée correspondant approximativement au cours actuel de l'Escaut entre Gand et Termonde, mais dans une direction exactement contraire au cours de celui-ci.

Lorsque l'on compare maintenant ce que nous appelions jusqu'ici les alluvions anciennes de nos cours d'eau, on voit combien ces dépôts se ressemblent dans les vallées profondes où les sédiments flandriens n'ont pas été complètement affouillés par l'afflux des eaux douces après le départ de la mer flandrienne.

Tout le long de la vallée de la Lys depuis Armentières jusque Gand, le long de la vallée de l'Escaut entre Audenarde et Gand, le long des vallées de la Senne, de la Dyle, du Démer, des Nèthes, sur des longueurs variables, les dépôts sont constitués par des sables meubles, assez régulièrement stratifiés, avec lentilles limoneuses intercalées, le tout sans l'apparence tourmentée, sans les stratifications obliques si fréquentes dans les sédiments fluviaux proprement dits.

A la base de ces dépôts, nous trouvons un cailloutis plus ou moins épais, constitué par des fragments plus ou moins roulés des roches dures affleurant le long des rives du haut cours de la rivière.

Ce cailloutis n'appartient pas en propre au Flandrien; il représente ce qui reste des véritables alluvions anciennes des rivières, dont les parties meubles ont été remaniées, emportées ou déplacées lors de l'entrée dans les vallées de la mer flandrienne, tandis que les cailloux délavés se concentraient au fond de la vallée.

Bien qu'il faille actuellement considérer ces cailloutis comme base réelle du Flandrien, leur origine plus ancienne n'en reste pas moins évidente.

II. — La séparation de l'Angleterre d'avec le continent.

Pour terminer ce qui a rapport à la période flandrienne, nous avons encore à émettre quelques considérations qui peuvent offrir de l'intérêt.

Il est bien admis actuellement par la science que, puisqu'on rencontre dans le Quaternaire d'Angleterre l'homme et son industrie de silex avec la faune du Mammouth et du *Rhinoceros tichorinus*, c'est que l'Angleterre était alors rattachée directement au continent et que hommes et animaux passaient librement de la partie continentale sur la presqu'île qui s'avançait au loin dans la mer du Nord.

Le problème de la séparation de l'Angleterre d'avec le continent a déjà été abordé depuis longtemps et l'on a conclu, sans pouvoir pré-

Digitized by Google

ciser, que cette séparation avait dû avoir lieu vers la fin des temps quaternaires, vu que la séparation n'existait pas pendant l'époque du Quaternaire inférieur et du Quaternaire moyen.

Il se pourrait que la solution du problème fût précisée par les considérations suivantes.

Un coup d'œil jeté sur la carte où sont indiquées les épaisseurs du Flandrien, montre que celui-ci présente peu d'épaisseurs moyennes; ou bien il est formé d'un vaste manteau peu épais, de 2 à 4 mètres d'épaisseur, ou bien il passe rapidement à des épaisseurs de 15, 20, 25 mètres.

C'est de ce fait que nous avons conclu à l'existence d'anciennes vallées submergées, dans lesquelles coulaient les cours d'eau à l'époque du Quaternaire moyen.

Or, si nous examinons ce qui se passe le long de notre littoral, nous constatons que les sédiments flandriens sont disposés d'une manière toute semblable à celle qui vient d'être indiquée.

Jusque près de la limite de la plaine maritime, nous trouvons 2 ou 3 mètres de Flandrien; puis, sous la plaine maritime, la base du Flandrien s'enfonce brusquement, pour atteindre des profondeurs de 20 à 25 mètres.

D'autre part, en certains points, à partir de Wenduyne jusque vers le Zwyn, la mer rejette continuellement sur la plage, surtout après les mers agitées, des quantités de grès paniseliens et de *Cardita planicosta* silicifiées, dans un si parfait état de conservation qu'on doit admettre qu'elles viennent d'être dégagées de leur gisement naturel et d'être jetées sur le littoral, car elles ne portent presque aucune trace d'usure.

Or, étant donné qu'au puits artésien de Blankenberghe, la base du Flandrien se trouve à la cote — 31 et celle du Paniselien à la cote — 55, et en admettant de plus que l'épaisseur du Flandrien aille encore en s'accroissant vers le large, il devient impossible de comprendre comment les eaux agitées par les tempêtes peuvent aller détacher, à des profondeurs supérieures à 31 mètres, des *Cardita planicosta* encastrées dans le sable paniselien durci, pour les rejeter sur la plage.

Pour que ces faits puissent se produire, il faut que, loin de s'enfoncer encore vers le large, les couches paniseliennes remontent très sensiblement jusqu'à la zone d'agitation des eaux et que, loin d'être couvertes d'un manteau protecteur épais de Flandrien, elles affleurent au contraire sur le fond.

Or, voilà encore les éléments d'une vallée ancienne submergée, avec évidence pour ce qui concerne tout au moins le versant sud longeant le littoral.

Digitized by Google

Dans cette vallée a dû, à l'époque du Quaternaire moyen, couler une rivière ayant sa source sur la ligne de faîte dont le cap Blanc-Nez est encore de nos jours le témoin, avec les hautes falaises crayeuses correspondantes d'Angleterre.

D'autre part, nous avons vu que l'on ne pouvait comprendre l'irruption des eaux marines que par un affaissement général du sol que nous constatons au moins depuis Calais, puisque c'est à partir de l'emplacement de cette ville que la mer flandrienne a recouvert la Flandre; de sorte que la vallée du cours d'eau qui descendait d'un point de la crête de l'Artois et se jetait dans la mer en un point de la Hollande actuelle, a dû subir la destinée des autres vallées de la région : elle a été envahie par la mer et sans doute facilement élargie, vu qu'elle était creusée dans des sables et dans des argiles tertiaires.

Mais par suite de l'affaissement du sol, la crête de l'Artois s'est d'autant déprimée; si, d'autre part, nous concevons qu'une autre vallée existait sur le versant opposé et débouchait vers l'Océan, cette vallée a dû être également envahie par les eaux marines (1).

Deux bras de mer, suivant deux vallées préexistantes, pénétraient donc dans le pays, séparés par une faible barrière crayeuse.

Cette barrière, fissurée, dissoute par les agents atmosphériques, s'est encore progressivement abaissée jusqu'à ce que les deux bras de mer aient pu se rejoindre en un point et mélanger leurs eaux.

Dès lors, la séparation du continent d'avec la Grande-Bretagne était ébauchée et le travail des eaux douces et des marées a pu effectuer son œuvre de destruction. Les multitudes de fissures de la craie ont été élargies, les masses crayeuses transformées ainsi en amas de fragments meubles ont été rapidement dissoutes ou déplacées et emportées. Alors, les falaises ont commencé à dresser leur talus à pic; sapées à leur base, elles se sont éboulées et dès ce moment le travail de séparation fut définitivement entamé et celle-ci un fait accompli.

L'idée que je viens de développer n'est, du reste, pas nouvelle; elle rentre dans la théorie de Penck sur la formation des îles, et l'hypothèse de la séparation par l'érosion successive de deux vallées partant de la crête de l'Artois a déjà été émise, sans être toutefois appuyée de preuves satisfaisantes.

Je viens d'en fournir d'assez convaincantes, montrant l'existence de

(1) Des études entreprises dans le golfe normanno-breton, principalement par M. Chèvremont, il résulte à l'évidence que l'affaissement du sol qui a donné naissance au Flandrien, s'est fait sentir d'une façon plus accusée encore sur le littoral français que sur le nôtre.

Digitized by Google

l'une des deux vallées, celle s'ouvrant dans la mer du Nord, et ce serait cette vallée qui aurait ainsi été la cause initiale de l'emplacement et de la direction de la côte actuelle, depuis Calais jusqu'au Zwyn.

III. — Soulèvement du sol ayant mis fin à la période flandrienne.

Il nous reste maintenant à examiner quels sont les phénomènes qui ont mis fin à la période flandrienne.

Cette période a évidemment pris fin par le départ de la mer flandrienne, et ce départ accompli, nous entrons, par ce fait, dans la période moderne proprement dite.

Pour amener l'irruption de la mer flandrienne jusqu'aux frontières du Limbourg, il a fallu admettre un affaissement du sol d'au moins 15 à 20 mètres; pour amener le départ de la mer flandrienne, il a fallu, au minimum, un comblement total, un ensablement gigantesque de toute la région envahie, accompagné ou non d'un soulèvement du sol.

Pour élucider la question, il suffit de constater l'état actuel des choses.

Il est certain que, au moment de l'envahissement maximum, la ligne des rivages, que nous sommes parvenu à délimiter et à tracer sur une carte, correspond à une courbe de niveau dont la cote est celle de la marée haute de la mer flandrienne.

Comme il n'existe aucune raison plausible pour penser que la marée était soit beaucoup moins ample, soit beaucoup plus ample qu'à présent, nous pouvons admettre que la ligne des rivages de la mer flandrienne, au moment de l'envahissement maximum, correspondait approximativement à la cote + 5.

Or, dans le deuxième chapitre, où nous avons cherché à établir les limites de la mer flandrienne, nous nous sommes efforcé de constater les altitudes auxquelles s'élèvent actuellement les dépôts flandriens.

Pour ce qui concerne la Flandre occidentale, région la mieux étudiée à ce point de vue spécial, nous avons constaté que, vers le sud de la province, les dépôts marins flandriens s'élèvent jusque vers la cote 45 et, tenant compte de la facilité de dénudation des sables meubles étendus le long des pentes, il est prudent de forcer un peu le chiffre et d'admettre, pour la vallée de la Lys, la cote 50.

Plus au nord, la chaîne non interrompue des collines de Zonnebeke, Passchendaele, West-Roosebeek, Staden, Clerken, jusqu'à Dixmude,

Digitized by Google

constitue comme une échelle de hauteurs placée exprès pour constater la suite des altitudes maximum du Flandrien.

Or, le long de cette chaîne de collines, l'altitude maximum du Flandrien descend très lentement et progressivement jusqu'à la cote 37, vers Clerken, au-dessous de laquelle tout semble avoir été submergé dans la région.

Les collines de Thourout, Wynghene, Thielt, jusqu'à Deynze, nous donnent des altitudes semblables.

Au nord de ces collines, le mouvement de descente des altitudes paraît s'accentuer assez subitement, car sur les flancs des collines d'Oedelem, Knesselaere, Ursel et Somergem, le Flandrien ne paraît pas avoir dépassé la cote 18.

Nous venons de voir qu'au plus grand épanouissement de la mer flandrienne, tous les points dont il vient d'être question étaient situés sur une même courbe de niveau que nous pouvons coter + 5; de sorte que si, aujourd'hui, nous constatons que le Flandrien monte, dans le sud de la Flandre occidentale, jusqu'à l'altitude 50 mètres, c'est que, depuis le plus grand épanouissement de la mer flandrienne, cette région s'est soulevée de 45 mètres, en admettant qu'il ne se soit plus produit de mouvements du sol depuis lors.

De même, au nord de la Flandre occidentale, nous voyons les points qui se trouvaient primitivement à la cote 5, monter jusque 18; il s'ensuit — avec la même réserve que ci-dessus — que la région s'est soulevée de 13 mètres.

D'Armentières à Oedelem, la différence de soulèvement est donc de 32 mètres.

Vers l'est, les renseignements sont moins précis, mais ils concordent avec les précédents.

C'est ainsi que nous pouvons évaluer à 35 mètres l'amplitude du soulèvement vers Ternath, à 25 mètres celui relatif à Bruxelles, probablement à 20 mètres au moins celui relatif à Louvain; de sorte que de Thielt à Louvain, par exemple, c'est-à-dire de l'ouest vers l'est, le mouvement de soulèvement aurait toujours été en diminuant.

Au contraire, en continuant vers l'est, le mouvement semble avoir repris de l'amplitude, car vers Aerschot, le soulèvement semble être compris entre 20 et 25 mètres, et à Diest, où M. Van den Broeck fait monter le Flandrien jusqu'à la cote 55, le soulèvement aurait atteint 50 mètres. Toutefois il reste à savoir si, dans cette région, les sédiments flandriens sont purement marins ou si ce ne sont pas des dépôts de crue fluviale. Dans ce dernier cas, le soulèvement aurait pu être moindre que l'évaluation que nous venons d'indiquer.

Digitized by Google

Ce qu'il faut retenir du présent chapitre, c'est donc que le départ de la mer flandrienne doit être attribué à un soulèvement important du sol, mais inégal, beaucoup plus ample sur tout le pourtour du bassin qu'au centre.

En effet, la région qui semble avoir le moins bougé, et dont le soulèvement n'a probablement pas dépassé 5 à 6 mètres, est la partie centrale du bassin, c'est-à-dire la région d'Anvers.

Là, le soulèvement a été simplement ce qu'il fallait pour exonder les sédiments flandriens déposés.

IV. — Formation du régime fluvial actuel du bassin de l'Escaut.

Étant en possession de la notion du soulèvement, de ses diverses amplitudes et par conséquent de l'allure générale de la surface de la vaste plaine sableuse, ancien fond de la mer flandrienne émergé, voyons les conséquences immédiates d'un pareil état de choses.

Dès que le soulèvement a pu faire sentir sensiblement ses effets, les divers cours d'eau dont la mer avait envahi une partie plus ou moins grande des vallées, se sont mis à reconquérir ces vallées en coulant à la surface des dépôts flandriens et en les ravinant.

Mais comme les sédiments flandriens déposés dans ces vallées montaient avec le soulèvement du sol, les pentes longitudinales des vallées se sont accrues, les courants sont devenus de plus en plus rapides et l'érosion des dépôts flandriens meubles a été toujours en progressant et avec une énergie croissante.

Il s'ensuit que la principale manifestation géologique de la fin de la période flandrienne a été un recreusement énergique des vallées ensablées, un déblayage énorme, un charriage gigantesque de tous les éléments meubles vers l'ancienne embouchure des cours d'eau, *c'est-à-dire vers le golfe de Gand, dont l'ensablement, à une certaine distance vers le large, a dû être complet, au point de former des barres constituant d'abord des hauts-fonds bientôt émergés, sans doute, par les effets du soulèvement.*

Les traces de la principale de ces barres sont encore parfaitement indiquées par une ligne nette de faibles altitudes dépassant celle de la plaine environnante, commençant à l'ouest, à la colline de Somergem, entre ce village et Eecloo, et suivant une direction ouest-est, pour se souder, vers Wachtebeek en haut-fond du pays de Waes.

Mais le soulèvement inégal du bassin continuait.

A l'ouest, les îles d'Oedelem, Knesselaere, Ursel et Somergem se soudaient peu à peu et se rattachaient aux collines de Thielt, barrant

Digitized by Google

aux eaux le chemin de l'ouest, par l'altitude de leur chaîne. D'autre part, une pente vers l'est s'établissait, vu le faible relèvement du centre du bassin par rapport à ses bords, qui se soulevaient de toutes parts.

Enfin, vers la fin du soulèvement, et par conséquent à l'aurore même de l'époque moderne, les altitudes finales s'étant établies, à cause de la cessation du mouvement du sol, et les points les plus bas s'étant localisés dans les environs d'Anvers, le régime fluvial actuel a dû nécessairement s'établir.

Par suite de la pente de l'ouest et du sud-ouest du pays vers la région d'Anvers, la Lys et l'Escaut, qui tous deux se jetaient au fond du golfe de Gand, en des points très rapprochés, ont dû naturellement se réunir et, la mer s'étant progressivement retirée, ils ont dû *suivre celle-ci dans la direction de l'est*.

D'autre part, la vallée du formidable Rupel primitif, qui débouchait également dans le golfe de Gand, voyait constamment l'altitude de son ancienne embouchure s'élever, tandis que le cours moyen restait relativement stationnaire.

Une véritable contre-pente se formait donc, si bien que pendant et, à plus forte raison, après l'émersion, ce Rupel — qui pendant l'immersion était simplement réduit à ses divers éléments — ne put que se reconstituer dans la région basse de Malines et pousser droit au nord vers la mer qui se retirait, ayant perdu l'un de ses affluents primitifs, la Dendre, qui, à son tour, dut prendre un cours solitaire vers le nord.

Bientôt, vers Rupelmonde, la Dendre et le Rupel se rejoignirent pour continuer ensemble leur chemin vers le nord, ébauchant ainsi le futur cours de l'Escaut.

Pendant que la Dendre et le Rupel nouveaux, grâce à leur situation à proximité du centre de la dépression, prenaient leur direction définitive vers le nord et se rencontraient vers Rupelmonde, la Lys et l'Escaut réunis à Gand cherchaient péniblement leur voie. Leurs eaux, encore indécises, alors que les différences d'altitude causées par le soulèvement inégal se produisaient, empêchées de s'écouler vers l'ouest et vers le nord à cause des barres, durent s'épandre largement à la surface des sables accumulés dans le golfe de Gand, puis se décidèrent à prendre la voie de l'est qui, seule, leur était ouverte.

Mais la pente nécessaire à l'écoulement direct s'établissait lentement par la continuation du soulèvement de la région ouest; les eaux réunies de la Lys et de l'Escaut se mirent donc à décrire d'énormes méandres, tantôt rejetées vers le nord, tantôt vers le sud,

Digitized by Google

serpentant au travers d'une suite d'étangs et de marais jusqu'à ce que, rencontrant la Dendre qui avait déjà eu le temps de fixer et de régulariser son cours, le nouvel Escaut profita du lit que la vallée de cette rivière lui offrait. C'est ainsi que l'Escaut et la Dendre réunis allèrent à leur tour se confondre à Rupelmonde avec le nouveau Rupel, pour constituer désormais le Bas-Escaut.

Le cours actuel de l'Escaut entre Gand et Termonde s'est donc établi dans les sédiments flandriens qui ont comblé la grande vallée de l'ancien Rupel dont le cours, au Quaternaire moyen, était précisément de sens inverse à celui de l'Escaut actuel.

Telle est, à grands traits, l'esquisse des faits qui ont dû se passer vers la fin de l'époque flandrienne et à l'aurore des temps modernes.

Peut-être s'est-il produit des variantes de détail dans ce que je viens d'esquisser.

Il en est une que je crois vraisemblable et dont j'ai préféré ne point parler jusqu'ici pour ne pas compliquer les raisonnements.

Je ne considère pas comme acquis que, dès le commencement du soulèvement ayant provoqué d'assez bonne heure l'évacuation du golfe de Gand, la Lys et l'Escaut se soient réunis immédiatement à Gand pour constituer l'Escaut définitif.

Diverses raisons permettent de croire que la Lys ne s'est pas réunie immédiatement à l'Escaut.

Je crois que la nouvelle Lys a certainement recreusé son ancienne vallée jusque Deynze, mais qu'alors, la pente vers le nord n'ayant pas encore été transformée en une pente vers le nord-est et ensuite vers l'est, la Lys s'est creusé, dans la masse des sédiments flandriens, une vallée qui est celle de la Vieille-Caele, puis qu'elle a contourné le nord de Gand et a été rejetée lentement vers l'est. Elle a pris alors la direction du Moervaert, cherchant à se frayer un passage vers le nord-est.

C'est alors que, pendant un certain temps, elle a accumulé ses eaux en un vaste lac allongé entre Mendonck et Stekene; mais le soulèvement nord-ouest accentuant la pente vers l'est, les eaux du lac, profitant sans doute de la vallée d'un petit ruisseau qui s'y déversait, envahirent cette vallée, la remontèrent, puis, marchant résolument vers l'est, formèrent la Durme actuelle, qui se jeta provisoirement dans la Dendre.

C'est pendant ce temps que l'Escaut, resté isolé, après avoir essayé lui-même de pousser une pointe directement vers le nord, puis vers l'est, fut forcé de former un lac vers Destelbergen, de décrire ensuite une boucle plus courte pour redescendre un peu au sud vers Melle, puis

Digitized by Google

de reprendre décidément son cours vers l'est, tout en décrivant les immenses méandres de Calcken et de Wichelen, qui durent sans doute retarder sensiblement sa marche vers Termonde et son union avec la Dendre.

Je dirai immédiatement un mot d'un argument qui me fait pencher vers la possibilité de cette variante du cours de la Lys : c'est la constatation, au moyen de la sonde, de l'épaisseur et de l'importance des alluvions de la Vieille-Caele, sensiblement plus grandes que celles des alluvions de la Lys actuelle, coulant entre Deynze et Gand.

Il me paraît vraisemblable que la Lys a coulé plus longtemps dans la Vieille-Caele que dans sa vallée actuelle.

Quoi qu'il en soit, le mouvement qui a pu rejeter l'ancienne Lys vers le sud pour en former la Durme, a produit ses effets sur le cours moyen de cette rivière. La pente vers l'est s'accentuant, la Lys a dû abandonner le cours trop directement nord de la Vieille-Caele pour prendre une direction est plus accentuée; c'est alors qu'elle a creusé son nouveau lit entre Deynze et Gand, où la jonction avec l'Escaut a été définitive.

Enfin, une autre manière de voir pourrait encore avoir été réalisée.

La Lys aurait pu recreuser directement sa vallée jusqu'à Gand et se joindre immédiatement à l'Escaut, tandis que la Durme serait, comme précédemment, le simple prolongement du Moervaert et de la Vieille-Caele, celle-ci n'étant plus un ancien lit de la Lys, mais bien la continuation directe de la Mandel.

C'est à cette manière de voir que je tends à me rallier actuellement, étant données les particularités si caractéristiques qui signalent le cours de la Mandel à l'attention des hydrographes.

On sait que la Mandel a sa source près de Roulers, arrose cette ville, Iseghem, Ingelmunster, puis que, arrivée à Markeghem, elle fait un coude brusque à angle aigu, pour passer par Wacken et se jeter dans la Lys en face de Zulte.

Or, c'est là un cours tout moderne, car sur le terrain on remarque parfaitement, sur le prolongement naturel du cours à Markeghem, l'existence d'une vallée avec alluvions qui se dirige vers Dentergem et va se jeter dans la Lys vers Gothem.

Mais ce n'est pas tout : pour se jeter ainsi dans la Lys, la vallée est encore obligée, comme précédemment, de former un coude brusque, tandis que sur le prolongement naturel continue à se montrer une vallée avec alluvions qui rejoint la Lys à Deynze, mais dont la vallée de la Vieille-Caele constitue toutefois aussi le prolongement direct.

Comme on le voit, la Mandel actuelle jusqu'à Markeghem et ses

Digitized by Google

prolongements successifs jusqu'à Deynze, se continuent de la manière la plus naturelle par la vallée de la Vieille-Caele, le Moervaert et la Durme en un seul et même cours d'eau.

A mon avis, ce serait donc la Mandel primitive qui a coulé au nord de Gand, qui a tenté de forcer le seuil de Stekene, qui, ne pouvant le faire, s'est transformée en un vaste lac allongé dont le fond s'est couvert d'alluvions, et qui a été forcée de prendre la direction sud pour constituer le cours de la Durme. Or, le soulèvement de la région ouest du pays, qui a ainsi été cause de la dépression anversoise et qui a forcé la Mandel-Moervaert à se déverser dans la Durme, a agi de même d'abord vers Deynze.

Là, les deux rivières se touchaient presque, un rien suffisait pour les faire se confondre.

Mais le mouvement continuant, la tendance des cours d'eau à couler vers le nord-est a toujours été combattue par la pente vers l'est qui s'accentuait, de sorte que la Mandel, grâce à la proximité de la Lys vers Gothem, a abandonné son lit vers Deynze et s'est jetée dans la Lys.

Plus tard, le mouvement continuant, la Mandel a formé son coude de Markeghem, a abandonné son lit précédent et a pris le cours définitif que nous voyons actuellement.

Ainsi qu'on peut le constater, beaucoup de conclusions auxquelles nous sommes arrivé, ne sont pas nouvelles comme idées.

De nombreuses hypothèses, fondées presque uniquement sur des documents anciens ou sur des observations géographiques, ont été émises depuis plus d'un siècle par les auteurs qui ont cherché à connaître les cours anciens de nos fleuves et de nos rivières.

Beaucoup de ces hypothèses sont très ingénieuses, mais, il faut bien le dire, la base scientifique leur faisait défaut.

Grâce aux observations géologiques, grâce surtout à la sonde, — qui équivaut, pour le géologue, à l'adjonction d'un sixième sens : la vision de l'invisible, instrument qui permet de constater la présence des alluvions et des sédiments d'âges successifs déposés en profondeur sur une région donnée, — les documents historiques, toujours sujets à caution et à jeux d'imagination, font place maintenant à des données matérielles précises. C'est donc grâce à la sonde que nous avons pu suivre pas à pas les traces des modifications passées, cachées et oblitérées par les effets des modifications plus récentes.

Il est naturel que parmi tant d'hypothèses précédemment proposées, il en est qui se réalisent, mais ce n'est pas leur émission qui a influencé le géologue.

Digitized by Google

On reconnaîtra que nous ne sommes parti d'aucune hypothèse formulée d'avance; nous avons simplement suivi rigoureusement la méthode scientifique en partant du connu pour aller vers l'inconnu, et c'est ainsi que nous sommes venu rencontrer les hypothèses émises, infirmant les unes et confirmant les autres.

Il doit être aussi bien entendu que je ne considère pas les résultats ci-dessus exposés comme définitifs, surtout en ce qui concerne les détails.

Il ne faut pas perdre de vue que je n'ai utilisé que des documents, ou plutôt des données de sondages qui n'avaient nullement été effectués en vue de l'étude spéciale qui nous occupe.

Cependant, la voie est tracée; aussi est-ce avec plaisir que je présente ici à mon confrère M. Mourlon un large tribut de félicitations et de remerciements pour avoir résolument introduit la méthode des grands sondages profonds dans le levé de la partie du territoire qui lui a été dévolue.

C'est en cherchant à atteindre le sous-sol tertiaire afin de remplacer sur la Carte les hypothèses de Dumont par des faits précis, que M. Mourlon, en perçant les fortes épaisseurs de Flandrien dans tout le nord de la Flandre orientale, nous a permis d'établir sur des bases indiscutables l'existence du golfe de Gand et celle de l'énorme vallée du Rupel primitif, dont les eaux se jetaient également dans le golfe, après avoir drainé une grande partie de la Belgique orientale.

Pour l'établissement définitif des faits d'ordre secondaire, les sondages effectués uniquement en vue du levé de la Carte géologique sont encore trop peu nombreux pour que certains faits, même assez importants, ne nous échappent encore.

Mais actuellement, la ligne de conduite pour aller en avant est tracée; on sait ce qu'il faut chercher à confirmer ou à infirmer, et quelques sondages supplémentaires, judicieusement distribués, permettront d'obtenir dans un avenir rapproché tout l'ensemble des connaissances concernant les modifications successives de notre réseau fluvial.

J'ai également à féliciter M. E. Delvaux au sujet des recherches nombreuses qu'il a commencées depuis longtemps déjà sur les questions concernant les cours de l'Escaut et de la Lys, mais dont il tarde malheureusement à publier les résultats.

Enfin, j'espère que M. E. van Overloop, auteur d'une méthode si ingénieuse pour retracer le cours des anciennes rivières et suivre leurs déplacements successifs, et qui s'intéresse si vivement à beaucoup des questions traitées dans le présent travail, ne verra pas sans satisfaction que plusieurs des résultats auxquels il est arrivé se trouvent confirmés par l'application pure et simple de la méthode géologique.

Digitized by Google

V. — Tracé de la carte des limites de la mer flandrienne et de ses profondeurs

Il me reste encore à dire quelques mots de la manière dont a été effectué le tracé de la carte qui accompagne ce travail et qui représente d'une part les limites de l'envahissement du pays par la mer flandrienne et d'autre part le tracé de la région où sont rassemblées les grandes épaisseurs de Flandrien, supérieures à 10 mètres. Ce tracé nous fournit par le fait même le figuré des dépressions et des vallées aux temps du Quaternaire moyen, dépressions et vallées entièrement comblées et cachées à nos yeux sous le vaste manteau de sédiments flandriens.

Pour les limites extérieures de la mer flandrienne, on verra que je n'ai pas suivi toutes les sinuosités des courbes de niveau actuelles.

En effet, nous avons eu, en maints endroits, l'occasion de constater combien les influences atmosphériques ont dénudé non seulement les sédiments flandriens, mais encore les dépôts sous-jacents depuis l'époque de l'émersion.

Le déchiquetage à l'infini des pentes que nous montrent les courbes de niveau est évidemment le résultat de la dénudation et du ruissellement moderne.

Pour reconstituer l'état du sol vers le milieu de l'époque flandrienne, qui, sans doute, concorde avec l'envahissement marin maximum, il m'a fallu nécessairement supprimer tous ces effets du déchiquetage moderne, pour ne suivre que les directions générales obtenues par des courbes tangentes et extérieures au découpage actuel.

C'est ce procédé qui, déjà appliqué par M. van Overloop, lui a permis de tracer les grandes lignes des directions principales successives prises par les rives de l'Escaut primitif.

D'autre part, pour ce qui concerne la question des profondeurs, j'ai simplement marqué sur la carte, à l'emplacement même où les observations, c'est-à-dire les sondages, ont été effectuées, des chiffres indiquant l'épaisseur du Flandrien, et je n'ai eu alors qu'à circonscrire le lieu de tous les points dont l'épaisseur excède 10 mètres.

On remarquera toutefois que quelques chiffres inférieurs à 10 sont englobés dans le lieu des fortes épaisseurs.

C'est, dans ce cas, la considération de l'épaisseur anormale des dépôts modernes, obtenue aux dépens et par ablation du sommet du Flandrien, que j'ai prise pour guide.

Digitized by Google

VI. — Résumé chronologique.

Je crois utile de résumer chronologiquement ci-après les principaux points acquis dans ce travail.

I

Vers la fin du Quaternaire moyen, c'est-à-dire du *Hesbayen*, le nord-ouest de notre pays présentait le réseau fluvial suivant :

A. Un cours d'eau avec vallée assez profonde coulait du sud-ouest au nord-est, dans la direction du rivage actuel de la mer. Il avait très probablement sa source vers la crête de l'Artois, qui passait directement dans la Grande-Bretagne, unissant celle-ci au continent. Ce cours d'eau semble s'être jeté dans la mer à l'emplacement actuellement occupé par la Zélande.

B. Un golfe profond et très évasé s'ouvrait au nord de Gand.

C. Au fond de ce golfe débouchaient trois vallées :

Au sud-ouest, une vallée qui se confond avec celle de la Lys actuelle.

Au sud, une vallée qui se confond avec celle de l'Escaut actuel.

A l'est, une énorme vallée profonde, large à l'embouchure d'au moins 10 kilomètres, dans laquelle coulait de l'est vers l'ouest un majestueux cours d'eau constitué par la réunion des rivières qui, actuellement, s'appellent : la Dendre, la Senne, la Dyle, le Démer et les Nèthes.

D. Des trois vallées débouchant au fond du golfe de Gand, c'est celle du Rupel qui paraît avoir eu le plus d'importance.

E. L'embouchure de la vallée de la Senne indique un cours d'eau très important. La Senne se jetait à Vilvorde dans un large estuaire ou *Pool*.

Au sud de Vilvorde, la vallée était profonde et encaissée.

F. A l'est de ce *Pool* se jetait une rivière dont la vallée correspond à la vallée actuelle de la Dyle.

G. Au nord de Louvain, le fond de cette vallée se trifurquait, une branche se dirigeant vers le sud dans le sens de la Dyle actuelle, une autre se dirigeant vers l'est dans le sens du Démer.

La troisième se dirigeait vers le nord-est et allait rejoindre la Grande-Nèthe.

Digitized by Google

II

Au début de l'époque flandrienne, le sol commença à s'affaisser lentement et d'une manière continue. Le résultat immédiat fut l'entrée des eaux marines dans les vallées que nous venons d'énumérer.

L'affaissement continuant, la mer s'avança de plus en plus loin dans les vallées, atteignit ensuite le niveau du plateau dans lequel elles étaient creusées et finalement recouvrit ces plateaux suivant la limite indiquée sur la carte accompagnant ce travail, et laissant émergées à l'état d'île les ondulations du sol dont l'altitude dépassait l'ampleur du mouvement d'affaissement, que nous avons évalué à 15 mètres.

Les eaux marines, en envahissant les vallées, bouleversèrent naturellement les alluvions quaternaires déposées au fond des cours d'eau. La lutte des eaux douces contre celles de la marée remit tous les éléments meubles en suspension, et les sables et les limons furent entraînés vers le large, en même temps que le cailloutis de base des alluvions anciennes, trop lourd pour être transporté, était remanié et étalé à nouveau au fond des vallées, et recevait bientôt en superposition les nouveaux sédiments propres à la période flandrienne.

A l'époque de l'envahissement maximum, nous constatons :

A. Que la mer a dû pénétrer largement dans la vallée du cours d'eau qui descendait de la crête de l'Artois et qui se jetait au nord-ouest du golfe de Gand, *préparant ainsi la séparation de l'Angleterre d'avec le continent.*

B. Que la mer a dû pénétrer très profondément dans la vallée de la Lys, puisque nous retrouvons encore des dépôts épais de 9 mètres à Armentières et que le manque seul de renseignements nous empêche de savoir jusqu'à quel point extrême elle est parvenue.

C. Que la mer a dû pénétrer dans la vallée de l'Escaut jusqu'à un point difficile à déterminer dans l'état actuel des connaissances, mais qui a toutefois dû dépasser la frontière française au sud d'Antoing.

D. Que les eaux marines ont transformé d'abord l'énorme vallée de l'ancien Rupel en un bras de mer bien plus important que l'embouchure actuelle de l'Escaut devant Flessingue; puis que, l'affaissement continuant, la mer a envahi le plateau supérieur, recouvrant tout le pays de Waes et les régions au sud de la grande vallée. Que par ce fait même, la mer a pénétré dans les vallées des affluents : la Dendre, la Senne, la Dyle, le Démer, la Grande-Nèthe, transformant le bas cours de ces rivières en splendides chenaux maritimes et réalisant Courtrai,

Digitized by Google

Alost, Ninove, Bruxelles, Malines, Louvain, Aerschot, Diest et jusque Turnhout, ports de mer.

Bruxelles, notamment, — nous parlons naturellement de son futur emplacement, car tout trace de villes faisait défaut à cette époque, — était alors situé le long d'un chenal presque rectiligne de 2 à 3 kilomètres de largeur et de 20 à 30 mètres de profondeur, qui débouchait dans l'ancien *Pool* transformé en petite mer intérieure, à Vilvorde. Il en était de même d'Alost et de Louvain.

Enfin, les eaux marines, ayant pénétré loin dans le Démer et les Nèthes, débordèrent et submergèrent sous leurs flots une grande partie de la Campine anversoise.

E. Pendant le temps que dura l'immersion, la mer rongea ses rivages, élargit ses chenaux, reçut les sédiments arrachés par les cours d'eau aux continents, et un immense ensablement s'opéra sur toute la vaste contrée recouverte par la mer.

Les sédiments, en s'accumulant, préparèrent le comblement total du golfe de Gand et des vallées, et l'accumulation des sables aux points où la force vive de l'eau ne permettait plus la tenue en suspension, provoqua au nord de Gand la formation de trois barres successives est-ouest, ou hauts-fonds, dont le relief est encore nettement visible de nos jours.

F. Pendant le même temps, la crête de craie qui réunissait le continent à la Grande-Bretagne s'était peu à peu détruite par l'attaque des agents atmosphériques; bientôt les eaux marines qui envahissaient la vallée parallèle à notre littoral actuel purent communiquer par une ou plusieurs passes avec les eaux de l'Océan qui avaient envahi une autre vallée coulant en sens inverse, *et dès lors, la séparation de l'Angleterre d'avec le continent fut un fait accompli.*

III

Un certain temps après l'envahissement maximum de la mer flandrienne, un phénomène inverse à celui qui avait donné naissance à la période flandrienne se produisit.

Un soulèvement du sol, lent et continu, émergea peu à peu l'ouest, le sud et l'est de la région d'Anvers, laissant celle-ci relativement immobile et dessinant ainsi un bassin ou cuvette dont le point le plus bas avait cependant joué le rôle de haut-fond pendant la période d'envahissement.

Il en résulta les conséquences suivantes :

A. La mer abandonna d'abord tout son littoral sud et découvrit

Digitized by Google

bientôt les plaines sur lesquelles elle n'avait jamais présenté grande épaisseur.

B. En même temps, elle rétrograda dans les vallées, abandonnant dans celles-ci les sédiments qu'elle avait déposés.

C. Pendant ce temps, les eaux douces avaient suivi la mer dans sa retraite; elles coulèrent d'abord sur les sédiments flandriens; puis, les pentes des bords du bassin s'accentuant par le soulèvement, elles se mirent à éroder les sédiments et à s'y recreuser une vallée, sans toutefois parvenir à recreuser à fond l'ancienne et en y conservant ainsi une épaisseur plus ou moins forte de sables flandriens, que nous retrouvons comme témoins, de nos jours, sous les alluvions modernes déposées.

D. Dans la vallée qui courait dans la direction de notre littoral, le retrait lent de la mer par soulèvement du sol ne put reproduire l'ancien état de choses.

Une profonde rainure s'était creusée dans la crête de l'Artois, dont la partie la plus élevée du fond, battue et désagrégée par la marée, disparaissait au fur et à mesure de l'émersion.

Dans la suite des temps, cette rainure n'a fait que s'approfondir et s'élargir par suite de l'usure et de l'éboulement des hautes falaises de craie : *le Pas-de-Calais était formé.*

E. Pendant ce temps, l'ancien golfe de Gand, complètement ensablé, s'émergeait et se présentait bientôt sous forme d'une vaste plaine de sable montrant le relief des anciennes barres parallèles.

F. La Lys, dont la source est au pied de la crête de l'Artois, vit son point d'origine assez rapidement soulevé par le mouvement de relèvement du sol; mais le volume de ses eaux était insuffisant pour qu'elles eussent pu se répandre largement à la surface des sables qui avaient comblé si complètement leur ancienne vallée.

La rivière se mit à couler en décrivant d'énormes méandres, aux formes continuellement changeantes, à la surface des sables flandriens émergés.

Arrivées au fond de l'ancien golfe de Gand, les eaux trouvèrent une plaine de sable presque sans pente et elles inondèrent le pays.

G. En même temps, l'Escaut fit de même, mais sa vallée paraissant plus encaissée que celle de la Lys, le recreusement fut plus énergique.

Arrivé au fond de l'ancien golfe de Gand, l'Escaut trouva une

Digitized by Google

situation semblable à celle que rencontra la Lys, et les deux cours d'eau, en inondant la région, unirent leurs eaux.

II. Pendant ce temps, les eaux pluviales tombant sur la vaste plaine de la Flandre occidentale émergée, se réunirent en une rivière qui a reçu le nom de Mandel; celle-ci, qui se dirigeait droit sur la Lys, fut peu à peu ramenée par le mouvement du sol à prendre la direction normale vers la partie la plus basse de la cuvette. Dès lors, elle coula parallèlement à la Lys, frôla celle-ci à Deynze, mais toujours rejetée vers le nord-est, elle continua sa route par une vallée qui a reçu le nom de Vieille-Caele, puis par une autre appelée Moervaert.

La Mandel avait ainsi atteint Stekene et s'apprêtait à traverser une des anciennes barres fermant le golfe de Gand, en s'amassant et s'épandant en un lac allongé, lorsque le mouvement de soulèvement, gagnant sensiblement l'ouest, la força à chercher un autre écoulement.

Celui-ci se fit sans doute par la vallée d'un ruisseau préexistant, en formant la Durme actuelle.

Plus tard, le soulèvement ayant gagné le nord-ouest, il n'y eut plus de pente suffisante vers le nord-est, et le bras Vieille-Caele-Moervaert devint stagnant. Les eaux de la Mandel, sollicitées vers l'est, n'eurent que peu d'efforts à faire pour s'écouler directement dans la Lys à Deynze; tandis que la Durme, réduite à ses propres ressources, constitua désormais le drain de l'ancien lac de Mendonck-Stekene. Dans la suite, l'embouchure de la Mandel a encore rétrogradé deux fois vers le sud-ouest.

I. Pendant le même temps, la région de Gand s'était soulevée sensiblement plus que celle de Malines, comprise dans la région d'Anvers. Dès lors, une contre-pente s'établit entre Malines et Gand, de sorte que les eaux de l'ancien Rupel ne purent reprendre leur lit primitif et remonter jusque Gand. Les eaux de la Senne, de la Dyle, du Démer et des deux Nèthes, sollicitées vers le centre du bassin, prirent un cours serpentant sur la masse des sédiments flandriens émergés.

La jonction du Démer et de la Dyle fut rapidement réalisée, de même que celle de la Dyle et de la Senne.

Quant à l'ancienne jonction de la Grande-Nèthe avec la Dyle et le Démer, qui se produisait grâce à un courant nord-est-sud-ouest, elle ne put se maintenir. Les eaux du nord-est du pays, sollicitées vers l'ouest, prirent un cours nouveau ou se concentrèrent dans des vallées secondaires préexistantes et vinrent rencontrer le confluent de la Senne et de la Dyle, constituant ainsi désormais le nouveau Rupel.

Digitized by Google

Toutes ces eaux réunies, sollicitées vers le fond du bassin, qui se trouvait au nord d'Anvers, prirent donc cette direction, et ce fut ainsi que le nouveau Rupel ébaucha et dessina, en passant par le futur emplacement d'Anvers, le futur cours actuel de l'Escaut.

J. Quant à la Dendre, qui lors du Quaternaire moyen se jetait vers Termonde dans l'ancien Rupel, ses eaux furent naturellement drainées directement vers le nord. La rivière, maintenant isolée, poursuivit donc la mer qui se retirait vers le fond du bassin; elle allongea ainsi son cours par Baesrode, Saint-Amand, rencontra la Durme à Thielrode, passa par Tamise et vint rencontrer le Rupel à Rupelmonde.

Cette jonction importante élargit notablement le lit du Rupel nouveau.

K. Pendant que ces événements se déroulaient, la Lys et l'Escaut, réunis à Gand, faute de pente sensible, ne savaient comment prolonger leur cours, et il se produisit bientôt, tout autour de Gand, de vastes inondations avec poussée des eaux d'abord vers le nord, puis vers l'est. Enfin, le mouvement de soulèvement à l'ouest s'accentuant, les eaux, après avoir cherché un chemin vers le sud, prirent, d'abord avec lenteur et difficulté, à cause de la faible pente, leur mouvement vers l'est, décrivirent de grandes boucles hésitantes; puis, la cuvette d'Anvers s'étant toujours mieux dessinée, les eaux de la Lys et de l'Escaut réunies prirent, d'une allure plus décidée, le chemin de l'est.

Mais à Termonde coulait déjà la Dendre prolongée; les eaux de la Lys et de l'Escaut se réunirent donc à celles de la Dendre et en empruntèrent le lit; puis, le prolongement de la Dendre conduisant le tout à la rencontre du Rupel nouveau, l'ensemble des eaux emprunta à son tour la vallée de ce cours d'eau, *et ainsi le cours actuel de ce qu'on nomme le Bas-Escaut fut constitué.*

En somme, il faut bien l'avouer, l'Escaut n'a guère fait que profiter du travail des autres rivières.

On ne peut lui reconnaître, dans le travail de constitution de son cours inférieur, aucune initiative ni action prépondérante.

En réalité, la seule part qui revienne à l'Escaut actuel est son cours depuis sa source jusque Gand.

Le cours de Gand à Termonde se fait en collaboration avec la Lys, qui semble avoir toujours eu une importance à peu près égale à l'Escaut.

Enfin, de Termonde à Rupelmonde, c'est réellement à la Dendre qu'appartient l'initiative du cours, comme le reste, depuis Rupelmonde jusqu'à l'embouchure, revient à l'initiative du Rupel.

Digitized by Google

L. Dès lors, les grandes lignes de l'hydrographie actuelle étaient arrêtées; elles se sont perpétuées jusqu'à nos jours.

C'est donc pendant l'époque moderne proprement dite que le réseau des rivières et ruisseaux secondaires s'est établi sur l'ancienne plaine, fond de la mer flandrienne.

Quant aux régions qui n'ont pas été atteintes par l'envahissement flandrien, elles ont gardé naturellement — jusqu'à un certain point — l'intégrité de leurs antiques vallées. Toutefois, les mouvements du sol qui ont amené l'invasion de la mer flandrienne, puis son départ, ont certainement dû avoir quelque influence, d'abord retardatrice, puis accélératrice, sur leur travail de creusement.

Depuis le départ de la mer flandrienne, par soulèvement des bords de la cuvette, il est certain que beaucoup de rivières et de ruisseaux ont dû manifester une recrudescence d'énergie dans le creusement de leur vallée. A l'heure actuelle, ce travail de creusement est à peu près terminé, le creusement des vallées ayant pour effet d'adoucir les pentes et, par conséquent, d'annuler la force érosive des eaux.

VII. — Conclusions relatives à l'anthropologie.

Dans tout le cours de ce travail, il n'a été question que de faits physiques, de phénomènes de géologie dynamique et de leurs conséquences matérielles.

Pour ce qui concerne l'appréciation des temps auxquels ces phénomènes se sont produits, nous avons vu que l'ancien régime fluvial décrit est celui qui appartient au Quaternaire moyen et que le régime marin représente le Quaternaire supérieur.

En Belgique, la période quaternaire est divisée en trois sous-périodes : le Quaternaire inférieur ou *Campinien*, le Quaternaire moyen ou *Hesbayen* et le Quaternaire supérieur ou *Flandrien* (1).

(1) *Note ajoutée pendant l'impression.* Il est bien entendu qu'il n'est pas question ici du *Mosèen*, dont l'existence vient d'être révélée par M. Mourlon et qui constitue le terme le plus inférieur du Quaternaire, situé sous le Campinien. Ce terme paraît être d'origine marine.

D'autre part, le présent travail ayant été rédigé en janvier 1897, quantité de déductions nouvelles ont pu être faites depuis lors en ce qui concerne spécialement la question anthropologique. C'est pour cette raison que j'ai présenté en avril à la Société d'anthropologie de Bruxelles un travail spécial intitulé : *Les conditions d'existence de l'homme et les traces de sa présence au travers des temps quaternaires et des temps modernes en Belgique.*

Digitized by Google

Cela suffit à des géologues, mais pour les non-initiés, il faudrait trouver un autre point de comparaison.

Ce point peut être, par exemple, l'apparition de l'homme dans notre pays.

Or, un fait certain, qui ne peut plus être remis en discussion, c'est l'apparition de traces évidentes de l'industrie humaine dès le commencement du Quaternaire inférieur ou *Campinien*.

Dans le cailloutis de base du Quaternaire inférieur apparaît l'industrie dite *mesvinienne*, associée à une faune bien connue, celle du Mammouth et du *Rhinoceros tichorinus*.

Nous trouvons des traces de cette industrie humaine primitive ou mesvinienne au travers de la période quaternaire inférieure et nous la voyons se transformer, au sommet de cette période, en une industrie déjà plus perfectionnée, dite *acheuléenne* (1).

C'est cette industrie que l'on trouve dans le cailloutis de base du Quaternaire moyen ou *période des limons*, mais qui, en réalité, se rattache plutôt à la fin du Quaternaire inférieur.

Nous avons vu que cette période des limons pourrait tout aussi bien, en prenant la cause pour l'effet, être appelée : *période des grandes crues*. C'est dire que l'homme, après avoir vécu dans notre pays pendant tout le Quaternaire inférieur, a dû l'abandonner pendant toute la durée de la période d'inondation d'eau douce.

Or, c'est la connaissance de l'hydrographie de cette période du Quaternaire moyen qui nous a été fournie par la notion des épaisseurs du Flandrien, celui-ci ayant enfoui toutes les vallées sous ses masses de sédiments marins.

Cet état de choses, caractérisé par la présence du golfe de Gand et de l'énorme Rupel primitif, qui coulait de Termonde à Gand en sens contraire à celui de l'Escaut actuel, a donc existé bien après que l'homme eût apparu dans nos contrées.

L'invasion marine flandrienne, qui a envahi un quart de notre territoire, est donc plus récente encore ; elle correspond très probablement à l'*âge du Renne*, bien connu des anthropologistes et caractérisé, au point de vue humain, par un grand progrès dans l'industrie, accompagné d'une notion déjà très développée d'art véritable (dessin et sculpture).

(1) *Note ajoutée pendant l'impression*. L'étude approfondie de ces questions m'a engagé à modifier cette manière de voir. Je considère actuellement l'industrie mesvinienne comme étant d'âge moséen et contemporaine du Chelléen. L'industrie campinienne correspondrait aux industries acheuléenne et moustérienne de M. de Mortillet.

Digitized by Google

On peut donc certifier que c'est pendant la deuxième moitié de la période flandrienne, ou de la période du Renne (retrait de la mer flandrienne), que l'état de choses actuel, pour ce qui concerne le tracé des vallées, s'est produit; de sorte que dès l'aurore des temps modernes, — donc avant la période de la pierre polie, — on peut dire que les traits les plus caractéristiques de l'état actuel des choses existaient déjà et que, seules, des modifications de détail (déplacements, ouverture ou fermeture de boucles, modifications légères de confluents, formation de tourbes, etc.) ont pu se produire depuis lors.

C'est en effet plus tard, probablement vers le commencement de l'époque de la pierre polie, que de nouveaux phénomènes géologiques sont venus jeter quelques perturbations dans le régime des cours d'eau, soit en diminuant leur pente par affaissement du sol, — ce qui a occasionné la formation des tourbières, — soit en augmentant leur pente, par soulèvement du sol; mais le fait principal qui doit se dégager de ces considérations, c'est que, dès l'aurore des temps historiques, le tracé des vallées et l'importance relative des cours d'eau actuels étaient déjà fixés et que, sauf pour ce qui concerne spécialement l'estuaire de l'Escaut, les grandes lignes de l'état actuel des choses étaient acquises; seul le régime a pu varier.

Digitized by Google

Cela suffit à des
trouver un aut
Ce poi
pays.
Or
l'ar
c

Digitized by Google

DEUXIÈME PARTIE

Les âges hesbayen, campinien et moséen. Le Tertiaire supérieur.

Parmi les questions de concours posées par le Bureau de la Classe des sciences de l'Exposition universelle de Bruxelles en 1897, il en est une dont voici le libellé : *Exposer l'état actuel de la question des mouvements du sol en Belgique, dans ses rapports avec l'histoire des dépôts quaternaires et modernes et avec la succession des états physiques de nos contrées pendant l'ensemble des temps post-tertiaires jusqu'à nos jours.*

Par mes travaux sur le Flandrien d'une part, sur la plaine maritime d'autre part (1), j'ai déjà, non seulement exposé l'état de la question des mouvements du sol pendant une partie du Quaternaire moyen, ou Hesbayen, pendant le Quaternaire supérieur, ou Flandrien, et pendant l'époque moderne, mais je crois y avoir ajouté quantité de données nouvelles, tant au sujet de la nature et de l'amplitude des mouvements du sol, que de leurs conséquences au point de vue de l'hydrographie.

Pour répondre à la question spéciale rappelée ci-dessus, il me suffira donc de compléter le travail déjà largement entamé et, en employant des moyens d'investigation analogues à ceux précédemment utilisés, de voir quels phénomènes ont dû se passer pendant le Quaternaire inférieur et pendant la première moitié du Quaternaire moyen.

Nous avons vu que le Quaternaire moyen est la grande époque des limons, et ces limons indiquent clairement, par leurs caractères lithologiques et paléontologiques, une origine d'abord continentale, puis

(1) Voir A. Rutot, *Étude des modifications du sol des Flandres depuis que l'homme a pu y établir sa demeure.* (Compte rendu du Congrès historique et archéologique de Gand, août 1896.)

Digitized by Google

fluviale, puis, plus spécialement, une origine d'inondations par suite de crues énormes et prolongées des cours d'eau.

Dans le travail relatif au Flandrien, nous avons cherché quelles étaient les conditions requises pour qu'une telle période de crues ait pu s'établir dans le pays, au point qu'une très grande partie de sa surface a été recouverte de dépôts limoneux, qui ne peuvent se produire que dans des eaux animées d'une vitesse médiocre et, par conséquent, coulant sur de très faibles pentes.

Nous avons reconnu qu'il avait fallu, pour arriver à un pareil résultat, maintenir au-dessus du niveau de la mer toute la région littorale, relever très sensiblement la Hollande et déprimer fortement toute la partie actuellement élevée du pays.

De cette manière, non seulement les eaux ont pu remplir toutes les vallées déjà creusées, mais elles ont pu franchir les bords des vallées pour inonder la plaine.

La disposition des limons de chaque côté de la vallée de la Meuse montre que celle-ci, à l'égal de toutes les autres vallées, a contribué à la formation du vaste manteau limoneux et qu'elle ne fait en rien exception à la règle.

Lorsque toute la partie élevée du pays s'est affaissée à l'origine de l'époque quaternaire moyenne, c'est naturellement la Meuse et la Sambre qui ont dû être le plus affectées par ce mouvement du sol. Leur vaste vallée déjà creusée et désormais sans pente pour l'écoulement rapide a dû se remplir d'eau, et comme ce qui constitue de nos jours les plateaux élevés bordant les rives formait plaine avec tout le reste du pays vers l'ouest, la Meuse et la Sambre ont mélangé leurs eaux avec celles de toutes les autres rivières, et sur cette vaste plaine se sont déposés les limons.

Ce n'est que plus tard que la région sud-est du pays s'est relevée au point où nous la voyons de nos jours et, d'après nos constatations faites lors de l'étude du Flandrien, ce n'est qu'à la fin, ou tout au moins dans la deuxième moitié de la période flandrienne, que ce mouvement de soulèvement a pu avoir lieu, la première moitié du Flandrien ayant elle-même été une période de dépression.

Ce qui vient d'être dit suffit pour faire voir l'inexactitude de la notion d'ancienneté différente accordée aux limons *actuellement* situés à des altitudes différentes.

J'ai déjà dit et je suis convaincu qu'il n'existe pas originairement de limons de hauts plateaux, ni de limons d'altitude moyenne et de basse altitude.

Digitized by Google

Il n'y a qu'une seule nappe, *primitivement à peu près horizontale*, de limons stratifiés, et c'est cette nappe unique qui, depuis la fin de l'époque flandrienne, a été soulevée aux altitudes les plus diverses par le mouvement du sol qui a mis fin à la période flandrienne.

C'est la croyance en la fixité du sol aux temps quaternaires qui a été l'unique cause du piétinement sur place que nous constatons en ce qui concerne la solution des questions intéressant le Quaternaire de notre pays.

C'est grâce à la croyance en cette fixité que l'on a toujours cherché à synchroniser les limons des hauts plateaux avec les sables et cailloux des hauts niveaux, et essayé quantité d'assimilations semblables, que la simple observation faisait rejeter, mais souvent sans rien expliquer.

C'est toujours grâce à la croyance en la fixité du sol que l'on en est venu à ne voir, pendant tout le Quaternaire, qu'un seul et unique phénomène : le simple creusement des vallées, du commencement à la fin, conformément à la théorie de Prestwich, très exacte pour ce qui concerne le phénomène d'un creusement complet pur et simple avec sol immobile, mais inapplicable ici.

C'est à M. Ladrière, de Lille, que reviennent l'honneur et la gloire d'avoir porté le premier coup — un coup de maître — au vieil édifice de la théorie du Quaternaire belge, théorie qui expliquait si peu de choses qu'il n'existait pas deux géologues d'accord sur certains points.

C'est M. Ladrière qui, en étudiant patiemment et sans la moindre idée théorique la composition du Quaternaire dans tout le bassin de Paris, jusqu'au Rhin, a montré qu'il n'y avait pas *une* période quaternaire, mais au moins *trois*, caractérisées de la manière la plus précise (1) :

1° Une *période inférieure*, pendant laquelle il ne s'est déposé que des *cailloux*, des *sables* et des *glaises*, avec faune de Mammouth et de *Rhinoceros tichorinus ;*

2° Une *période moyenne*, pendant laquelle il ne s'est déposé — outre le cailloutis de base — que des *limons*. Pas de faune de grands Vertébrés. Présence d'*Helix hispida, Succinea oblonga, Pupa muscorum ;*

3° Une *période supérieure*, pendant laquelle il ne s'est déposé, dans

(1) Nous ferons abstraction ici du terme le plus inférieur du Quartenaire, le *Moséen*, qui vient d'être découvert par M. Mourlon et dont les dépôts, d'origine marine, sont localisés dans la Campine. Nous ferons intervenir ce terme en temps opportun. (M. Mourlon, *Les mers quaternaires en Belgique, d'après l'étude stratigraphique des dépôts flandriens et campiniens, et de leurs relations avec les couches tertiaires pliocènes*. Bull. Acad. roy. de Belg., 3e série, t. XXXII, 1896.)

Digitized by Google

la région qu'il a étudiée, qu'un *limon spécial*, partout bien reconnaissable, qui a reçu le nom d'*ergeron*. Faune : les mêmes coquilles que celles du limon moyen.

M. Ladrière a, de plus, démontré que le sommet de la période inférieure et celui de la période moyenne sont constitués chacun par un lit tourbeux ou noirci, *trace d'un ancien sol*.

Le même auteur a montré que les dépôts si caractéristiques de ses trois périodes, et principalement les limons, peuvent se trouver *à toutes hauteurs*, aux niveaux bas des vallées comme au sommet des collines, sans changement de facies, avec leurs traces d'anciens sols et leurs lits de cailloux séparatifs.

Dès lors, M. Ladrière introduisait inévitablement la déroute dans la théorie quaternaire basée sur l'immobilité du sol; il faisait pénétrer la notion de trois ordres de phénomènes différents et successifs, et en même temps la notion de déplacements verticaux qui ont inégalement soulevé les parties d'un même manteau limoneux, primitivement horizontal.

Ce qui a manqué à M. Ladrière pour pousser ses déductions au point où nous pouvons le faire, c'est la connaissance du *Flandrien*.

Dans la région qu'il a étudiée, l'ensemble des terrains quaternaires est d'origine entièrement fluviale, tandis qu'en Belgique et dans le nord du Pas-de-Calais vient s'introduire la notion d'une période dans laquelle les phénomènes marins jouent un rôle important.

Dans la vaste région continentale étudiée par M. Ladrière, nous rencontrons les dépôts des trois périodes citées ci-dessus; dans notre pays, nous trouvons également trois masses quaternaires : deux — les deux inférieures — entièrement semblables, sinon identiques, à celles du bassin de Paris et du nord de la France, la troisième à facies plus compliqué que dans les régions que nous venons de citer.

En effet, sur l'énorme territoire étudié par M. Ladrière, le Quaternaire supérieur ne comprend que l'*ergeron* surmonté de sa terre à briques, que nous persistons à n'accepter que comme simple facies d'altération de la partie superficielle de l'ergeron.

Dans notre pays, nous trouvons : 1° dans le Hainaut, l'*ergeron* aussi typique qu'il peut l'être; 2° dans la partie centrale du pays, un *limon homogène non stratifié* dont — avec M. Van den Broeck — nous admettons, jusqu'à preuve du contraire, l'origine éolienne; 3° dans le nord-est du pays, un *sable avec lits limoneux*, avec coquilles marines actuelles, qui n'est autre que le *Flandrien*.

Ces trois facies semblent s'exclure; jusqu'ici, nous n'avons jamais

Digitized by Google

vu une superposition évidente de Flandrien sur ergeron ni sur limon homogène, ou l'inverse.

De ces trois facies, il en est un qui, peut-être, n'est pas d'âge flandrien : c'est le limon homogène de la Belgique centrale.

Ce limon, s'il est réellement dû à l'action du vent, comme nous le croyons, exige une période sèche ou relativement sèche.

Or, lorsque nous avons étudié, dans la première partie de ce travail, les phénomènes qui se sont passés à la fin du Quaternaire moyen, nous avons vu que cette période, qui a concordé avec la série de grandes crues ayant déposé, sur les deux tiers du pays, le manteau de limon gris stratifié à Hélix et à Succinées, se termine, au moins pour la partie ouest du pays, par une période de tourbes qui n'admet plus l'inondation d'eaux abondantes et limoneuses. La formation des tourbes exige une simple période de tranquillité et l'existence de dépressions peu profondes, remplies d'eaux stagnantes et pures.

Cette constatation supprime donc en fait la continuation de la période de très grandes venues d'eau qui a rempli presque toute la période du Quaternaire moyen et il est hautement probable que la sécheresse relative qui a permis l'établissement des tourbières, a aussi permis le dessèchement de la surface de la grande plaine limoneuse et le transport de l'est vers l'ouest, par des vents secs, de la poussière limoneuse sur la partie de limon stratifié située vers l'ouest.

Des trois termes déterminés ci-dessus, il en est donc un qui peut disparaître de la série supérieure pour être classé à la fin de la période moyenne ou des limons.

Restent le Flandrien, inconnu à M. Ladrière, et l'ergeron de M. Ladrière, situés tous deux dans la même position stratigraphique, puisque tous deux sont directement superposés au limon gris stratifié.

Nous savons ce qu'il faut penser du Flandrien : c'est un dépôt marin, localisé.

Qu'est-ce que l'ergeron?

C'est un limon généralement très sableux, très stratifié, souvent parsemé de petits fragments de craie blanche alignés dans les stratifications, avec lit de cailloux de base à allure très ravinante et renfermant, surtout dans les zones limoneuses, une grande quantité d'*Helix hispida*, de *Succinea oblonga* et de *Pupa muscorum*.

De cette constitution, nous pouvons tirer d'importantes conclusions relatives à l'origine de l'ergeron.

Dire que l'ergeron est un limon très sableux, très stratifié, à allure ravinante et renfermant les mêmes coquilles que le limon gris stratifié

Digitized by Google

du Quaternaire moyen, c'est dire que l'ergeron est un dépôt mixte, tenant le milieu entre les dépôts sableux stratifiés et ravinants des eaux à cours assez rapide et les dépôts de crue limoneuse, fins, également stratifiés, abandonnés par des eaux largement répandues, à cours très lent et incapables de ravinement.

L'ergeron est donc essentiellement un dépôt de crues, mais plus ou moins localisé aux abords des cours d'eau à allure semi-torrentielle qui lui ont donné naissance.

Les eaux ont dû, à l'origine surtout, être assez rapides pour entraîner des cailloux et des sables, pour creuser de petites vallées éphémères, plus ou moins parallèles à celles du cours d'eau principal, grâce à leur vitesse; mais plus tard, le régime s'est tempéré et le volume des eaux n'a jamais permis l'inondation générale de la région considérée.

C'est précisément ce qui se vérifie pour le Hainaut, où l'ergeron bien caractérisé n'est connu qu'aux environs immédiats des vallées de la Haine et de la Trouille.

Nous savons quel était l'état de nos régions à la fin du Quaternaire moyen; il y régnait un grand calme, les eaux coulaient simplement dans leurs vallées, tandis que dans les dépressions les tourbières se développaient.

Que faut-il pour transformer une semblable période en une période à régime semi-torrentiel, qui est celui qu'il a fallu pour amener le dépôt de l'ergeron? Il faut produire une dénivellation qui permette d'augmenter sensiblement la pente des cours d'eau.

C'est un pareil mouvement qui s'est manifesté à l'origine de l'époque flandrienne.

Une dépression générale, mais plus forte au nord qu'au sud, s'est produite, permettant l'invasion de la mer flandrienne, et dès lors les cours d'eau du Hainaut et de la crête de l'Artois ont pu prendre, grâce aux différences de niveau, une allure semi-torrentielle avec crues, pendant que la mer, envahissant les embouchures des vallées, formait obstacle à l'écoulement rapide de la masse liquide en rompant brusquement l'équilibre.

Le mouvement du sol qui convient pour expliquer l'invasion de la mer flandrienne convient donc également pour expliquer la formation de l'ergeron et, tout au moins théoriquement, *la probabilité du synchronisme de l'ergeron, dépôt continental, avec le Flandrien, dépôt marin, peut être provisoirement signalée.*

Je ne désespère du reste pas de pouvoir démontrer bientôt directement par les faits le passage du Flandrien à l'ergeron.

Digitized by Google

J'en suis précisément arrivé au point de mes levés géologiques qui pourra fournir une solution du problème.

Je vais aborder, en effet, le levé de la chaîne de collines formant la ligne de faîte entre le bassin de l'Yser et le bassin de la Lys.

J'ai déjà pu voir que le long du flanc de ces collines, le Flandrien s'élève jusqu'à l'altitude 45 ou 50, tandis que M. Ladrière y a reconnu, sur les sommets, des lambeaux d'ergeron.

Quelques observations heureuses suffiraient pour amener la solution du problème, d'autant plus que mes précédents levés m'ont montré que, précisément dans ces parages, la partie supérieure du Flandrien est toujours limoneuse, au point que, sans observations nombreuses en profondeur, on ne pourrait s'imaginer se trouver en pleine région flandrienne.

Ces idées étant exposées, revenons au Quaternaire moyen.

D'une part, nous savons déjà quelles conditions il a fallu pour réaliser une période d'inondation générale des trois quarts du pays, avec dépôt d'énormes masses de limons stratifiés.

Nous avons vu qu'un tel fait nécessite un aplanissement général du pays, depuis la région de la Meuse jusqu'au littoral d'alors, qui était loin de se trouver où il se trouve actuellement, puisque nous avons montré que l'Angleterre était encore rattachée au continent et que notre ligne de rivages actuelle correspond à l'une des rives d'une ancienne vallée qui descendait de la crête de l'Artois.

Cela implique une vallée de la Meuse possédant déjà un tracé semblable au tracé actuel, déjà largement creusée et dont l'altitude supérieure, au plateau d'Ans, par exemple, pouvait dépasser à peine l'altitude des points bas actuels de la grande masse limoneuse, c'est-à-dire 10 à 15 mètres au-dessus du niveau de la mer, au lieu de 200 mètres, comme aujourd'hui.

Du reste, comment imaginer un dépôt de limon d'inondation sur la rive gauche de la Meuse dans les conditions d'altitudes actuelles?

C'est précisément le bord même longeant la vallée qui se trouve à l'altitude la plus élevée.

Dès que les eaux de la Meuse auraient dépassé cette barrière, elles se seraient précipitées vers l'ouest en torrents, en creusant des vallées est-ouest tout le long de la Hesbaye, d'autant plus qu'actuellement les cotes de surfaces sont très atténuées, vu la présence du revêtement limoneux, qui a de 15 à 20 mètres d'épaisseur. Primitivement, cette épaisseur était encore à décompter.

Donc, de ce qui a été dit précédemment, nous concluons que limon

Digitized by Google

gris stratifié des plaines basses de la Flandre et limon gris stratifié des hauts plateaux actuels bordant la Meuse, — nappes qui se rejoignent sans solution de continuité par la moyenne Belgique, — ont dû s'être formés en même temps et à peu près à la même altitude, peu élevée au-dessus du niveau de la mer.

Quant aux distinctions subtiles que l'on a cherché à introduire entre le limon des hauts plateaux et celui des altitudes moyennes et basses, dont la principale est l'absence de débris de la faune des grands Vertébrés dans le limon des hauts plateaux : « limon non ossifère des hauts plateaux de la Sambre et de la Meuse » de la légende de la Carte géologique au $^1/_{40000}$; elles sont, d'après moi, sans fondement, attendu qu'on n'a jamais trouvé jusqu'ici d'ossements dans aucun des limons, à n'importe quelle altitude.

Ces ossements sont localisés dans le terme : cailloux, sables et glaise de la division inférieure du Quaternaire ou Campinien, et lorsque l'on rencontre des ossements à la base des limons, on voit toujours clairement qu'ils ont été arrachés au Quaternaire inférieur, raviné.

Pour ce qui concerne les coquilles terrestres : *Helix*, *Succinea* et *Pupa*, qui se montrent en assez grande abondance dans les limons situés actuellement aux moyens et aux bas niveaux, tandis qu'on n'en rencontre pas aux hauts niveaux, le fait de leur présence ou de leur absence peut, à mon avis, très bien s'expliquer.

Les limons des hauts plateaux sont précisément ceux qui bordent actuellement les vallées de la Meuse et de la Sambre.

Or ces deux cours d'eau ont creusé leur lit dans des roches anciennes; ces vallées sont profondes, à bords escarpés et peu propres à voir se développer sur leurs rives la végétation propice à la vie des mollusques cités ci-dessus.

Si même ces mollusques avaient vécu sur les bords du fleuve, ils eussent été enlevés dès la première crue et emportés au loin, vers le nord, et non déposés à proximité des bords de la vallée.

Au contraire, les cours d'eau qui coulaient en région tertiaire et que nous connaissons, d'après mon travail sur le Flandrien, comme n'étant autres que la Lys, le haut cours de l'Escaut, la Dendre et le Rupel primitif, ces cours d'eau, disons-nous, avaient des vallées plus larges, beaucoup moins encaissées, permettant une végétation facile le long de leurs bords et, à l'époque des grandes crues, leurs eaux enflées et débordantes se sont rencontrées, contrariées, et les coquilles entraînées se sont principalement déposées avec les limons de l'ouest du pays qui, eux, sont restés à des altitudes basses, tandis que les régions de la Meuse

Digitized by Google

et de la Sambre ont été soulevées depuis, avec leur garniture limoneuse.

Pour ce qui concerne le Quaternaire moyen proprement dit, ce que nous avons exposé dans notre travail sur le Flandrien et dans le présent travail suffit largement pour que l'on puisse se faire une bonne idée de la situation de la partie de notre pays comprenant la moyenne et la basse Belgique.

Ce qui nous manque le plus, ce sont des éclaircissements relatifs à ce qui se passait dans le bassin de la Meuse.

Heureusement, nous avons pour nous éclairer l'excellent travail publié par notre confrère M. X. Stainier et intitulé : *Le cours de la Meuse depuis l'ère tertiaire* (Bull. Soc. belge de géol., t. VIII, 1894, Mém., pp. 83-101).

Dans ce travail, M. Stainier nous fait savoir comment était le cours de la Meuse à l'époque hesbayenne.

Or ce cours, sur toute son étendue à travers notre territoire, concorde avec le cours actuel.

Comme dépôt dans la vallée proprement dite, il n'y a que l'amas de cailloux qui garnit le fond actuel, amas qui est simplement recouvert par les alluvions modernes.

Pendant le Hesbayen, la Meuse a à peine creusé, mais a surtout alluvionné.

Le mouvement d'affaissement du sol qui s'est produit dans les régions actuellement hautes du pays, a donc dû réduire, dans des proportions très considérables, la pente des vallées de la Meuse et de la Sambre et par conséquent aussi la vitesse des eaux.

En même temps se produisait très probablement un envahissement marin du bas cours de la Meuse, qui refoulait les eaux douces. Enfin, lorsque les bords supérieurs des vallées furent descendus à la hauteur moyenne du reste de la grande plaine de l'ouest, les eaux accumulées s'épandirent largement vers l'ouest, se mêlant à celles de la plaine inondée et s'arrêtant, à l'est, le long de hauteurs plus grandes, en déposant aussi de ce côté une bordure de limon.

Voilà, je crois, esquissés à grands traits, les faits principaux caractérisant la période hesbayenne dans notre pays.

Il nous reste maintenant à essayer de pénétrer encore plus loin dans le passé, de manière à connaître les faits qui se sont produits pendant le Quaternaire inférieur ou période campinienne.

A cet effet, reportons-nous immédiatement à ce que nous enseigne la géologie.

Digitized by Google

Les observations de M. Ladrière, comme les nôtres, nous montrent que pendant cette période, il s'est déposé uniquement des cailloux, des sables et des glaises.

Les sables et les cailloux impliquent immédiatement l'idée de cours d'eau rapide; mais les glaises, qui sont des argiles plus ou moins sableuses, parfois plastiques, tendent à modifier cette impression.

Mais d'abord, il y a lieu de remarquer que ces glaises, quand elles existent, *constituent le sommet du Campinien, tandis que les cailloux et les sables sont à la partie inférieure.*

Enfin, remarquons encore que l'extrême sommet du Campinien, lorsqu'il n'a pas été raviné par le cailloutis de la base du Hesbayen, est constitué par un lit noirci, végétalisé, avec ossements d'animaux (chevaux, etc.), traces évidentes d'un ancien sol.

Il y a donc eu, à la fin de l'époque campinienne, une période de calme relatif.

Je dis « calme relatif » parce qu'*il ne faut pas prendre la glaise supérieure comme un dépôt d'eaux tranquilles*, analogue au limon.

Pour ce qui concerne la Belgique, chaque fois que j'ai observé ces glaises (collines du nord de la Flandre, collines de la Flandre orientale, collines du Brabant), j'ai pu me convaincre que ce n'était autre chose que des paquets d'argiles tertiaires, et tout particulièrement d'argiles tongrienne et asschienne, situées à des altitudes élevées et qui ont glissé d'une pièce sur les flancs des vallées primitives, venant ainsi recouvrir les sables et cailloux déjà déposés.

On sait, en effet, que l'argile tongrienne et l'argile asschienne, souvent superposées avec un lit de sable intercalé, constituent, avec le Diestien, le sommet de la série tertiaire dans la moyenne Belgique.

Ces masses d'argile reposent, à leur tour, sur une très grande épaisseur de sables meubles.

Vers la fin des temps tertiaires, les eaux, coulant à la surface de la plaine émergée, ont raviné celle-ci et ont eu, après le Diestien, à entamer d'abord les argiles. Peu à peu, des sillons se creusèrent de plus en plus et atteignirent les sables sous-jacents.

Dès lors, l'affouillement fut de beaucoup facilité; les rainures creusées à pic dans les argiles s'élargirent dans la région des sables, les bancs d'argile tertiaire furent sapés par la base, bientôt le porte à faux s'établit et les masses d'argile, non soutenues, s'infléchirent sur les bords, puis se détachèrent de la masse et glissèrent dans les dépressions.

C'est ainsi qu'il faut comprendre la présence des glaises dans le

Digitized by Google

Quaternaire inférieur et, dans la région étudiée par M. Ladrière, j'ai observé, en sa compagnie, des cas analogues, où l'argile landenienne ou ypresienne tenait lieu de nos argiles tongrienne et asschienne.

On voit donc que la glaise ne joue pas, dans le Campinien, le rôle de *dépôt proprement dit;* les véritables dépôts sont les cailloux et les sables, et l'équivalent dynamique de la dénomination : *période campinienne* reste bien : *période des eaux rapides.*

Or, quelle est la condition physique pouvant réaliser une période d'eaux rapides ?

C'est naturellement un sol à fortes pentes.

Donc, au lieu d'un sol plat de basse altitude, indispensable pour l'établissement d'un régime d'inondation avec dépôt de limon, il nous faut actuellement un sol à forte pente et nous pouvons dire immédiatement : un sol à forte pente du sud vers le nord.

Pendant le Campinien, il a donc fallu que toute la région sud et sud-est de notre pays fût à une altitude notablement supérieure à l'altitude actuelle.

Quant à notre sol, à l'aurore des temps quaternaires, — et c'est là un fait généralement admis, — il devait être, sur au moins la moitié nord-ouest de sa surface, constitué par une vaste plaine, fond de mer pliocène et, pouvons-nous ajouter, fond de mer moséenne émergé.

Le départ des mers pliocène, puis moséenne, a donc été causé par le soulèvement considérable dont nous constatons les effets à l'époque campinienne, et ce soulèvement a été, en effet, considérable, attendu que les dépôts pliocènes, dont, dans la région d'Anvers, la surface est actuellement vers la cote 5, sont au nord-ouest de Bruxelles à la cote 80 et à 155 au sommet des collines de Renaix.

On les retrouve encore aux Noires-Mottes, au sommet de la falaise du cap Blanc-Nez, à 145 mètres d'altitude (1).

Tous ces points, aujourd'hui à des altitudes si différentes, se trouvaient donc, au moment de l'envahissement marin de la mer diestienne, sur une même courbe de niveau qui était approximativement celle de la marée haute de la mer diestienne.

Pour se faire une idée de la pente primitive du sol à l'aurore de la période campinienne, nous pouvons donc faire passer un plan, partant de la cote 5 à l'emplacement d'Anvers et passant à plus de 155 mètres

(1) Au nord d'Anvers, le même mouvement s'accentue avec la même intensité, mais en sens inverse, car les puits artésiens de la Hollande nous montrent les dépôts pliocènes, semblables à ceux d'Anvers, descendant sous des centaines de mètres de dépôts quaternaires.

Digitized by Google

à l'emplacement de Renaix. Si nous prenons 160 mètres, par exemple, cela nous fait une différence de 155 mètres pour 95 kilomètres, soit une pente de 1^{m},60 par kilomètre. Mais ce n'est là qu'une simple appréciation, car, sachant à n'en pas douter que d'importants mouvements ont eu lieu depuis, notamment l'énorme affaissement nécessaire pour l'établissement de la période d'inondation générale du Hesbayen, le calcul basé sur le relevé des cotes actuelles se trouve faussé.

Si nous répétons le même calcul pour la ligne Anvers-Bruxelles, d'Anvers à Wemmel (nord-ouest de Bruxelles), il y a 40 kilomètres, et au sommet de la colline de Wemmel le Diestien se trouve à la cote 80. Comme là le Diestien semble avoir été très peu dénudé et posséder à peu près sa puissance originaire (plus de 15 mètres), il existe donc une dénivellation de 75 mètres, soit à peu près 2 mètres par kilomètre.

A l'est de Louvain, la surface du Diestien atteint la cote 102; à raison de 45 kilomètres d'Anvers à Louvain, la pente est donc de 2^{m},20 par kilomètre.

En réalité, les pentes devaient être plus considérables que celles qui viennent d'être déduites des situations actuelles.

L'important était de constater que les conditions nécessaires pour l'explication des phénomènes qui se sont passés pendant le Campinien ont réellement existé.

Nous voici donc en présence d'eaux pluviales abondantes, tombant sur les plateaux sud où tous nos cours d'eau importants prennent naissance et trouvant leur écoulement naturel vers le nord, sur une surface encore peu creusée et assez fortement inclinée.

L'action mécanique de ces eaux a déjà été maintes fois décrite, aussi bien par mes confrères que par moi-même.

Ces eaux se sont, autant que possible, rassemblées dans toutes les dépressions et les ont approfondies, les unes plus, les autres moins, leur lit ayant été ensuite recouvert d'un cailloutis emprunté à tous les éléments rocheux rencontrés.

Telle est, à grands traits, la caractéristique de la première phase de la formation du Campinien.

Plus tard, les vallées, en s'approfondissant encore, ont naturellement diminué les pentes des courants d'eaux, peu à peu la vitesse s'est ralentie et les eaux qui d'abord par leur vitesse et par leur masse pouvaient entraîner au loin tous les matériaux : sables et fragments rocheux, ne purent plus successivement que déplacer les sédiments rocheux, puis ne plus déposer que les sables; les matières argileuses, qui auraient pu former des limons, étant entraînées dans la mer à cause de la vitesse encore suffisante.

Digitized by Google

C'est principalement à ce moment que vient se placer l'incident dont il a été question ci-dessus, consistant dans l'affouillement des sables supportant les argiles tertiaires et dans le glissement de paquets de celles-ci vers les niveaux inférieurs, où elles venaient recouvrir les cailloux et les sables précédemment déposés.

Enfin, probablement à la suite d'une période relativement sèche, le régime des eaux se calma, le volume disponible put s'écouler par les vallées rétrécies et approfondies et un sol habitable se constitua, sol qui nous est révélé par l'existence, à la surface des dépôts du Campinien, d'une couche noirâtre, végétalisée, dans laquelle on rencontre des débris d'animaux et des vestiges de l'industrie humaine.

Notons à ce propos que, pendant tout le Quaternaire inférieur, les précipitations atmosphériques n'ont jamais été comparables à celles qui ont dû se produire pour faire du Quaternaire moyen une période d'inondation à peu près générale.

Les eaux ont agi plus par leur vitesse que par leur masse, et ce qui le prouve péremptoirement, c'est que *toute la période quaternaire inférieure a été essentiellement une période d'habitabilité de notre territoire.*

Dès les premiers sédiments du Campinien, c'est-à-dire dès le cailloutis de base, apparaissent, en divers points du pays et sur les plateaux de l'Artois, de très nombreux spécimens de l'industrie humaine primitive, consistant uniquement en silex taillés.

C'est une partie de cette industrie qui a reçu de M. E. Delvaux le nom de *mesvinien,* du nom du village de Mesvin, au sud de Mons, où en ont été recueillis les premiers spécimens.

Cette industrie s'est ensuite transformée aux divers niveaux du Campinien et elle monte jusqu'à son sommet, où les formes de silex sont devenues celles de l'acheuléen et du moustérien.

Il est bien connu également que, en même temps que l'homme, vivait toute la faune des grands Vertébrés : Mammouth, *Rhinoceros tichorinus,* Cheval, etc.

Telles sont les grandes lignes de l'histoire du Campinien. Essayons maintenant d'entrer dans quelques détails.

Nous le pouvons heureusement, grâce aux travaux de MM. X. Stainier et van Overloop.

M. X. Stainier, dans son beau travail déjà cité : *Le cours de la Meuse depuis l'ère tertiaire,* nous donne une excellente idée de la Meuse à l'époque campinienne.

Il constate tout d'abord que le cours moyen de la Meuse, compris entre Lustin (entre Dinant et Namur) et Hermalle (entre Huy et Liége),

Digitized by Google

avait déjà sa situation actuelle. Toutefois, la vallée était beaucoup plus large que la vallée actuelle, avec le thalweg situé sensiblement plus à l'ouest et le cours moins sinueux.

Le coude de Namur existait déjà, mais beaucoup plus adouci.

C'est pendant le Campinien qu'a eu lieu le principal creusement de la vallée.

Je dis « le principal creusement », car à peu près tous les géologues sont d'accord à présent pour dire que la Meuse est un fleuve très ancien et M. Stainier montre clairement, par la traînée des cailloux blancs des plus hauts niveaux, qu'il existait déjà aux temps tertiaires — nous ajoutons : aux temps oligocènes — une ébauche de la vallée de la Meuse, large dépression de 5 à 10 kilomètres de largeur, qui a ceci de particulièrement intéressant qu'entre Liége et Namur son cours correspond approximativement au cours actuel, tandis qu'à partir de Namur, il semble se confondre avec le bas cours de la Sambre, au lieu de suivre le trajet vers Dinant.

Partant d'un creusement déjà acquis pendant les temps tertiaires, mais qui est également rejeté vers le nord-ouest du cours actuel, la Meuse a donc opéré pendant le Quaternaire inférieur la majeure partie du creusement de sa vallée, son cours par Dinant avec coude à Namur étant un fait accompli.

Pendant cette première période de creusement définitif, la Meuse a d'abord vidé sa vallée des alluvions qui s'y trouvaient, a effectué le creusement suivant la loi des méandres, coupant à pic les parties convexes de son cours, abandonnant des pentes en terrasses du côté concave.

M. Stainier montre que le creusement a été effectué en deux fois. Il y a eu d'abord un premier creusement énergique, pendant lequel la vitesse de l'eau était suffisante pour emporter et charrier tous les éléments rocheux arrachés aux rives. Ces éléments charriés ont été largement répandus là où la pente était insuffisante pour que le charriage continuât. Cette région est le nord-est du Limbourg, — la Campine limbourgeoise, — où les cailloux de la Meuse se sont accumulés sur une épaisseur de 15 à 20 mètres au-dessus des sables marins du Moséen de M. Mourlon.

Une diminution de la vitesse s'est alors produite et la Meuse a alluvionné dans son propre lit, couvrant de cailloux ses terrasses actuellement supérieures.

Un peu plus tard, le creusement a repris, et ce qui constituait alors le fond du fleuve a été creusé à son tour, le cailloutis étant charrié encore dans la plaine du nord.

Digitized by Google

Enfin, la vitesse des eaux a décru et le fleuve a alluvionné dans son lit, couvrant de son cailloutis les terrasses actuellement inférieures.

Comment expliquer ces variations?

Par des mouvements du sol, vu que des changements de volume des eaux seraient insuffisants pour produire les variations énoncées.

Donc, pendant la durée du Campinien, — qui a dû être fort longue, — des traces de deux oscillations du sol, faisant varier la vitesse des eaux au point de produire soit le creusement, soit l'alluvionnement, nous ont été conservées.

Nous avons vu que M. Stainier indique déjà l'existence d'une Meuse oligocène; or le territoire sur lequel coule son cours moyen n'a plus jamais, depuis l'Oligocène, été recouvert par les eaux marines.

C'est dire que pendant les périodes miocène, pliocène et moséenne, cette Meuse a dû exister et creuser sa large vallée, mais sans grande énergie.

D'autre part, la Meuse oligocène paraît avoir suivi le cours Sambre, puis Meuse à partir de Namur vers Liége (le cours Mézières-Namur ne semblant pas exister), tandis qu'à l'aurore des temps quaternaires, nous la voyons suivre son cours actuel, la Sambre paraissant, au contraire, nulle ou de faible importance.

Ces constatations peuvent recevoir une explication.

On s'est souvent étonné de voir la Meuse aborder de front la barrière de l'Ardenne et vaincre ce formidable obstacle en y creusant une vallée profonde.

On a cru pouvoir expliquer cette coupure par une faille préexistante, que la Meuse n'aurait eu qu'à suivre.

Mais on en connaît assez aujourd'hui pour savoir qu'il n'existe ni faille ni cassure suivant la vallée de la Meuse et que celle-ci est bien une vallée d'érosion.

D'autre part, entre l'Oligocène et le Quaternaire, les périodes miocène et pliocène se sont écoulées.

L'Oligocène a pris fin, chez nous, par le retrait de la mer rupelienne, puis, pendant une bonne partie du Miocène, le pays est resté à l'état continental.

Vers la fin du Miocène, un mouvement d'affaissement, qui n'a pas dû être bien considérable, a permis à la mer bolderienne de pénétrer dans le nord du pays, puis un soulèvement du sol, d'amplitude proportionnelle au précédent, a provoqué l'évacuation de cette mer.

Pendant toute cette période, la situation du bassin de la Meuse n'a guère pu être affectée, et il est hautement vraisemblable que la

Digitized by Google

Meuse oligocène et miocène a suivi précisément le cours qu'on s'étonne de ne pas lui voir prendre de nos jours.

Alors la Meuse, au lieu d'aborder résolument la barrière de l'Ardenne, qui, pour elle, constituait un relief, s'est bornée à la contourner, à poursuivre son cours large et peu profond au travers des terrains jurassiques, crétacés et tertiaires, jusque Charleroi, et du terrain houiller, peu résistant, de Charleroi à Namur, ébauchant ainsi la future vallée de la Sambre.

C'est ainsi que peut s'expliquer l'existence de ce cours primitif composite Sambre-Meuse indiqué par M. Stainier.

Mais à l'aurore de l'époque pliocène, un mouvement considérable du sol intervient.

Tout le nord du pays s'affaisse largement, permettant l'une des plus grandes invasions marines tertiaires qu'il y ait lieu de constater.

La mer envahit le Limbourg, toute la province d'Anvers, une bonne partie du Brabant (en passant bien au sud de Bruxelles), une grande partie — si pas la totalité — des deux Flandres (1), toute la Flandre française, jusque non loin de Boulogne-sur-Mer.

Pour obtenir un tel résultat, il faut un affaissement sérieux, qui a dû se propager loin au sud et, comme première conséquence, a dû abaisser notablement l'Ardenne.

Dès lors, l'Ardenne n'a plus formé ni relief ni barrière. Devant le coude de la Meuse primitive, vers Mézières, une pente naturelle vers le nord se présente et le fleuve, obéissant aux simples lois de la pesanteur, se précipite sur la pente qui lui est offerte et y creuse lentement sa vallée Mézières-Dinant-Namur, que nous constatons ébauchée au commencement des temps quaternaires, ainsi que nous le montre M. Stainier.

Dès lors, nous ne pouvons trouver étrange qu'à la même époque la Sambre paraisse beaucoup moins importante que la Meuse.

Mais après l'immense dépôt des sédiments diestiens recommence une ère de soulèvement de la région sud; nous constatons à chacune des périodes du Pliocène un recul de la mer vers le nord, puis vers le nord-ouest, surtout après le Moséen.

Le nord ne bougeant guère et le sud se relevant fortement, voilà donc encore des pentes considérables sud-nord qui se reproduisent.

Mais à ce moment, nous sommes précisément à l'aurore des temps

(1) Voir E. Van den Broeck, *Sur un nouveau gisement de la* Terebratula grandis Bl., *avec une carte de l'extension primitive des dépôts pliocènes marins en Belgique* (Bull. Soc. belge de géol., t. I, 1887).

Digitized by Google

campiniens et nous savons que cette période commence par des manifestations d'eaux rapides et torrentielles, exigeant de fortes pentes.

On voit donc comment tout concorde admirablement et comment le relèvement du sol nécessaire pour le départ des mers pliocène et moséenne a préparé, en même temps, les fortes pentes nécessaires pour l'établissement du régime torrentiel des eaux.

Voilà ce qui a dû se passer dans le bassin de la Meuse, et ces conclusions découlent directement de la belle étude de M. Stainier.

Grâce aux travaux de M. van Overloop, nous allons maintenant nous faire une idée de ce qui se passait dans le bassin de l'Escaut.

M. Stainier, pour nous faire connaître les diverses phases du cours de la Meuse, est parti d'observations faites sur le terrain, et notamment de la répartition des dépôts caillouteux de nature différente laissés par la Meuse aux différents âges et à diverses altitudes.

M. van Overloop s'est basé sur une idée théorique qui, examinée de près dans sa nature et dans ses résultats, conduit à l'admission de cette idée comme vraie et indiscutable.

M. van Overloop n'a pas eu à chercher les faits sur le terrain même, il a trouvé toutes les indications désirables sur les magnifiques cartes à l'échelle du $^1/_{20\,000}$ dressées par l'Institut cartographique militaire.

Il est parti de deux idées fondamentales, qui sont :

1° Une idée géologique émise déjà par les géologues et consistant à admettre, à la suite du départ vers le nord-ouest de la mer pliocène et post-pliocène, un mouvement du sol qui a émergé une vaste plaine partant de la crête de l'Artois, à haute altitude, et aboutissant approximativement à la frontière de Hollande, à basse altitude; donc existence d'une plaine très sensiblement inclinée du sud vers le nord, constituée en partie par le fond de la mer pliocène émergé;

2° Une idée géologique et orographique admise par tout le monde et qui consiste à dire que, puisque le relief actuel — admirablement représenté par les courbes de niveau de mètre en mètre des planchettes au $^1/_{20\,000}$ — est dû à l'érosion successive des eaux dans la plaine, la considération de l'allure générale des courbes de niveau depuis les plus élevées jusqu'aux plus basses — débarrassées des fioritures sans nombre dues aux ruissellements actuels — donnera une idée nette des diverses phases du creusement et de l'approfondissement des vallées.

Ces idées fondamentales sont donc absolument sérieuses, elles sont à la fois simples et ingénieuses.

Partant de là, M. van Overloop aborde les origines du bassin supé-

Digitized by Google

rieur de l'Escaut, ce nom d'Escaut n'étant ici qu'un nom conventionnel donné à une vaste nappe d'eaux sauvages et renfermant toutes celles qui, plus tard, devaient peu à peu s'individualiser en Senne, Dendre, Escaut, Lys, etc., etc.

M. van Overloop fait remarquer que la source actuelle de l'Escaut se trouve à peu près à la cote 100, et qu'au sud de cette altitude se rencontre une ligne de faîte d'altitude 150.

Or, primitivement, c'est de cette altitude supérieure qu'a pris naissance la nappe d'eaux sauvages qui s'est épandue sur la grande plaine du nord.

La mer pliocène diestienne est loin d'avoir poussé jusque-là ; sa limite sud n'a probablement pas dépassé Braine-le-Comte, et toute la partie située au sud de cette limite est successivement constituée par les étages éocènes : bruxellien, ypresien et landenien, ce dernier reposant directement sur la craie blanche.

Toute la partie sud se trouve donc ainsi émergée définitivement depuis bien avant le Pliocène, et comme il a dû y avoir toujours une certaine pente vers le nord, les eaux de pluie ont donc dû sillonner cette partie sud et y faire des ébauches de creusement dont nous ne pouvons plus retrouver que des traces fugitives.

Avant l'envahissement de la mer diestienne et alors que la mer bolderienne s'était retirée vers le nord, ces premières eaux descendaient au moins jusqu'à la frontière hollandaise.

Or, lorsque la mer diestienne a envahi le pays, elle a trouvé la plaine façonnée en larges vallées peu profondes dans lesquelles elle est entrée et qu'elle a ensuite *moulées* sous la masse de ses sédiments, comme nous avons vu les sédiments flandriens mouler les anciennes vallées du Quaternaire moyen.

C'est ce qui explique l'allure si bizarre et si irrégulière du gravier de base de l'étage diestien, gravier que l'on voit monter et descendre, en des points assez rapprochés, de manière à reposer, par exemple, en un point sur le Tongrien, puis descendre successivement, au travers de l'Asschien, du Wemmelien, du Ledien et du Laekenien, jusque dans le Bruxellien.

C'est ce qui se remarque continuellement sur la série des planchettes de Bruxelles, Saventhem, Erps-Querbs, Louvain, Lubbeek, Rotselaer, etc., etc.

Lorsque le levé complet de cette vaste région sera achevé et publié, on pourra peut-être tracer l'allure de la majorité des vallées creusées par les eaux douces dans l'intervalle des mers bolderienne (Miocène) et diestienne (Pliocène).

Digitized by Google

A un moment que M. van Overloop ne peut préciser géologiquement, mais qui correspond aux tout premiers commencements de sa première partie de l'histoire de l'Escaut, alors que les eaux sauvages coulaient à une cote qui est devenue pour nous, dans la suite, la cote 140, nous voyons l'énorme courant, peu profond, suivre une direction générale sud-ouest, nord-est, ses rives étant comprises approximativement entre Nivelles à l'est et la mi-distance entre Ath et Renaix à l'ouest.

Au nord de Nivelles, vers Ophain, nous voyons la rive droite s'infléchir brusquement et tourner vers l'est.

C'est le stade correspondant au tracé *A* de M. van Overloop (1).

A la page 23 de son mémoire : *Les origines du bassin de l'Escaut*, l'auteur dit :

« Parvenu à la hauteur de Braine-le-Château, le tracé *Aa* tourne brusquement à l'est, se dirigeant du côté de Braine-l'Alleud et de Rixensart, en recoupant la vallée actuelle de la Lasne.

» Nous ne retrouvons au nord de ces points aucune autre terre à pareille altitude. *Il faut en conclure, croyons-nous, qu'à Braine-le-Château les eaux fluviales débouchaient, sinon dans la mer proprement dite, du moins dans un immense estuaire, dont le tracé vers Rixensart constituait le bord.* »

Cette conclusion devient la stricte expression de la vérité; le rivage dirigé est-ouest était bien celui de la mer, et nous ajouterons immédiatement : *celui de la mer diestienne*, déjà un peu en retraite vers le nord.

C'est bien là, en effet, qu'ont dû s'établir, à un moment donné, les rivages de la mer diestienne en retraite; rivages, qui, au maximum d'envahissement, étaient situés sensiblement plus au sud, comme j'ai eu précisément l'occasion de le signaler il y a quelques années, grâce à la présence de nombreux blocs de grès grossier diestien à peine remaniés au sommet de la colline au sud de Braine-le-Château.

Ensuite, M. van Overloop nous montre les lignes successives du

(1) C'est pour avoir un figuré de rive continu que M. van Overloop a commencé ses tracés à la cote 140; mais à 145, 150 et 155, on obtient, dans leurs grandes lignes, des tracés analogues à ceux de la cote 140, toujours en retrait vers le sud. Toutefois, comme ces hautes altitudes sont actuellement très morcelées par les dénudations, M. van Overloop a préféré ne commencer ses tracés que lorsqu'ils n'étaient plus trop morcelés. C'est le tracé concordant avec les courbes 150 à 155 qui coïncide le mieux avec les anciennes limites de l'envahissement maximum de la mer diestienne. A ce moment, les rives ouest du courant fluvial nous sont inconnues; celles de l'est sont un peu plus à l'est qu'elles le sont au stade 140.

Digitized by Google

confluent des eaux douces et des eaux marines, prendre une direction nord-est, puis tourner franchement au nord et se prolonger dans cette direction.

Nous assistons ici à la poursuite de la nappe d'eaux sauvages du futur Escaut vers la mer diestienne qui continue à se retirer lentement vers le nord.

M. van Overloop doit abandonner le tracé de cette poursuite aux portes de Bruxelles, mais en fait, elle a dû aller plus loin et ce sont principalement les dépôts de la mer flandrienne qui sont venus ensevelir beaucoup plus tard les traces des reliefs anciens et qui n'ont pas permis de pousser plus avant les recherches.

Peu de temps après le moment de la plus grande extension de la mer diestienne, nous voyons donc le grand courant fluvial dirigé du sud-ouest au nord-est.

Au fur et à mesure de l'approfondissement par érosion du lit gigantesque, nous voyons la rive droite reculer sans cesse vers le nord-ouest, en même temps que la rive gauche apparaît et que les eaux prolongent leur cours vers le nord, en approfondissant plus spécialement leur lit suivant un sillon déterminé qui devient ainsi l'ébauche de la vallée de la Senne.

Ces constatations s'expliquent aisément.

C'est évidemment vers le nord-est que les mers rupelienne (Oligocène moyen) et bolderienne (Miocène) ont dû se retirer, et c'est aussi vers le nord-est que devaient se trouver les points profonds de la mer diestienne. On comprend donc pourquoi les eaux venant du sud avaient une tendance naturelle à s'écouler vers le nord-est.

Mais aussitôt l'envahissement maximum de la mer diestienne effectué, un mouvement de soulèvement très important s'est produit, et ce mouvement a dû avoir l'Ardenne pour centre.

Le mouvement du sol qui avait l'Artois pour centre du temps du Bolderien, a vu ce centre se déplacer lentement du sud-ouest vers le sud-est, car la mer diestienne semble s'être retirée vers la Hollande et l'Angleterre.

On comprend dès lors la nécessité du mouvement tournant des eaux du grand courant fluvial, indiqué clairement par la disposition des courbes successives dans les tracés de M. van Overloop.

Le tracé *D* de M. van Overloop correspond très probablement à une période déjà assez avancée du retrait de la mer diestienne; si les limons quaternaires, d'une part, et surtout si les dépôts marins flandriens n'étaient venus plus tard recouvrir le relief ancien, les traces subsis-

Digitized by Google

tantes auraient ainsi conduit M. van Overloop jusqu'à la frontière hollandaise.

Sitôt la mer diestienne retirée, deux nouveaux mouvements d'affaissement successifs du sol se produisirent, permettant l'invasion des mers scaldisienne, puis poederlienne.

Mais ces mouvements furent de beaucoup inférieurs à celui qui fut nécessaire pour l'envahissement diestien. Pendant ces périodes, c'est la continuation du déplacement du centre de soulèvement de l'Artois vers l'Ardenne qui prévalut, et les mers du Pliocène supérieur se retirèrent également vers l'Angleterre.

A la fin de l'époque diestienne, ce mouvement de translation ouest-est du centre de soulèvement avait encore une tendance ouest; avec l'envahissement de la mer scaldisienne, le mouvement tend à passer au sud, et nous voyons alors se produire le stade *E* de M. van Overloop, pendant lequel le courant fluvial a entièrement abandonné la vallée primitive de la Senne et transformé celle-ci en vallée secondaire autonome.

Avec le départ de la mer scaldisienne, le centre du soulèvement principal passe à l'est, et la rive droite du courant fluvial, toujours rejetée vers l'ouest, passe, pendant l'époque poederlienne, du stade *F* au stade *G*, où l'inclinaison générale de la rive droite, ou plutôt du courant fluvial, devient sud-sud-est, nord-nord-ouest.

M. van Overloop fait remarquer à juste titre que c'est entre les stades *E* et *G*, et notamment au stade intermédiaire *F*, que l'érosion a particulièrement agi le long d'un sillon devenu plus tard la vallée de la Dendre; aussi est-ce pour cette raison que M. van Overloop désigne sa seconde partie de l'histoire de l'Escaut sous le nom de *période de la Dendre*.

Faisons encore remarquer à ce sujet le passage (p. 27) où M. van Overloop dit : « Le travail général des eaux (pendant la période de la Dendre) s'effectue davantage dans un sens sud-nord. Les tracés deviennent plus tourmentés que précédemment. Au lieu des profils bien réguliers de la première période (de la Senne), inscrivant nettement le sens de leur cours aux flancs de leurs îlots, nous nous trouvons le plus souvent ici dans une sorte d'archipel assez enchevêtré et traversé de loin en loin seulement par quelque grande voie. Ce changement d'aspect doit être regardé comme le signe manifeste d'un affaiblissement du régime des eaux. »

M. van Overloop est parfaitement dans le vrai, d'abord parce que le courant fluvial n'a plus comme affluent les eaux du bassin de la Senne,

Digitized by Google

ensuite parce que les affaissements régionaux, ayant causé l'invasion successive des mers scaldisienne et poederlienne dans la région nord du pays, ont notablement réduit les pentes d'écoulement et, par conséquent, la force érosive des eaux (1).

Celles-ci n'ont plus la force érosive nécessaire que là où le volume est encore considérable et, seules, les passes continuent à s'approfondir, laissant entre elles de nombreux îlots qui sont, de nos jours, devenus nos collines.

Nous voici arrivés au départ définitif des mers tertiaires; mais nous ne sommes pas, néanmoins, en présence de la dernière incursion marine.

En effet, d'après ce que M. Mourlon vient de nous révéler, dans un golfe correspondant au large delta de la Meuse, dans la Campine, la mer moséenne a fait une incursion, à la suite d'une oscillation du sol semblable aux précédentes, et a déposé dans ce golfe, au-dessus des sédiments poederliens, jusque 60 mètres de sables, qui sont les *sables de Moll*. Toutefois, l'incursion ne semble pas avoir été de longue durée et la mer s'est retirée vers le nord-ouest, établissant, sur les territoires abandonnés dans sa retraite, un régime lagunaire qui a permis, vers la fin de la période moséenne, le dépôt des *argiles de la Campine*. A un moment même, certaines parties de ces dépôts ont dû se trouver exondés et ont permis à des Cervidés et à des Bisons, non encore étudiés, de s'y aventurer; de même, certains lits tourbeux indiquent, les uns des accumulations de bois flotté, les autres des sols provisoirement émergés, qui commençaient à se couvrir de végétation.

Le mouvement de translation de l'ouest vers l'est du centre des mouvements du sol s'est accompli et il se fixe dans l'Ardenne; en même temps se produit le principal soulèvement que nous ayons encore à enregistrer.

L'Ardenne se relève, soulevant ainsi proportionnellement le reste du pays, surtout la partie sud, mais produisant un mouvement inverse en Hollande. La mer moséenne recule dans la direction du nord-ouest, vers la mer du Nord et la côte est de l'Angleterre.

Les dépôts diestiens, qui ont échappé jusqu'ici en grande partie aux dénudations fluviales, s'élèvent à des hauteurs sensiblement plus grandes que celles que nous constatons de nos jours, tandis que ces

(1) J'ajouterai que j'ai des raisons de croire que c'est aussi vers la même époque que la Lys s'est séparée du grand courant fluvial et a conquis son autonomie. Ce dut être encore une perte sensible pour le courant fluvial principal.

Digitized by Google

mêmes dépôts descendent, en Hollande, à des centaines de mètres sous le niveau de la mer.

Une pente très sensible, dirigée cette fois nettement du sud-sud-est vers le nord-nord-ouest, s'établit, et nous voici ainsi parvenus à l'aurore de la période campinienne.

Les eaux pluviales tombant sur la région continentale, prennent donc une direction conforme à la pente générale. Grâce à la forte inclinaison, ces eaux acquièrent une puissance érosive considérable et, au lieu de divaguer comme précédemment, de chercher à s'étendre en vastes nappes, pressées d'arriver au but qui est la mer, les eaux se concentrent et cherchent principalement à creuser leur vallée. C'est ce que font la Meuse, d'une part, et toutes les rivières du bassin de l'Escaut, y compris la Dendre, qui, vers la fin du Poederlien, avait pu prendre son autonomie.

C'est sous cette impulsion puissante, due à la pente et non à un changement notable du volume des eaux, que le creusement de la vallée actuelle de l'Escaut s'est produit, de sorte que si l'on évalue à 15 mètres l'épaisseur moyenne des alluvions quaternaires et modernes existant de nos jours dans le fond de la vallée de l'Escaut, il convient — puisque M. van Overloop nous montre que l'on peut compter la cote 60 comme celle à partir de laquelle la vallée de l'Escaut a commencé à prendre sa situation actuelle — d'évaluer le creusement produit pendant le Campinien à 55 mètres environ.

On conçoit, comme nous avons eu l'occasion de le dire précédemment, comment il se fait que des limons n'ont pu se déposer dans notre pays pendant cette période, caractérisée par un creusement intense.

Le creusement, pour s'effectuer, doit vider d'abord à fond la vallée de tout ce qu'elle peut contenir; tous ces matériaux sont emportés au loin vers l'embouchure du courant fluvial, et ce n'est qu'à cette condition que le creusement peut s'opérer. D'autre part, pour que le creusement se continue, il faut que tous les matériaux arrachés aux rives et au fond soient de même charriés hors du lit, c'est-à-dire à la mer.

On peut donc conclure que pendant la plus grande partie du Campinien, aucun dépôt continental ne s'est effectué; c'est seulement vers la fin de cette période que, le mouvement considérable d'affaissement général se produisant, la pente a peu à peu diminué et avec elle la vitesse des eaux. Bientôt les cailloux entraînés des hauts plateaux ont pu se déposer dans le lit encore très large des cours d'eau; puis, plus tard ou en même temps, dans les tournants concaves des méandres, les sables se sont déposés, et, à peu près à la même époque, les argiles descen-

Digitized by Google

dues en paquets des hauteurs sapées à la base, sont venues s'étendre sporadiquement en glaises au-dessus des graviers ou des sables.

On voit, de quelque côté que nous envisagions la question, combien faits et phénomènes viennent s'accorder dans un ensemble harmonieux : que nous remontions la série des temps en nous aidant des faits du présent pour aller vers le passé, ou que nous suivions le cours des âges en partant de faits connus, nous nous raccordons toujours sans solution de continuité, sans jamais nous trouver en face de situations opposées ou inextricables.

Quelle était donc l'hydrographie de nos régions à l'époque du Quaternaire inférieur?

Nous pouvons maintenant répondre facilement à cette question, surtout pour les cours supérieurs.

Nous avons vu que, pour ce qui concerne la Meuse, sa vallée, à l'époque du Quaternaire inférieur, avait à peu près sa direction actuelle par Mézières, Dinant, Namur et Liége ; la Sambre, partiellement ancien lit de la Meuse tertiaire, était devenue affluent de la Meuse à Namur, sans avoir, semble-t-il, une grande importance.

Pour ce qui concerne le bassin de l'Escaut, nous avons vu la Senne prendre son autonomie au départ de la mer diestienne, la Dendre devenir indépendante au départ de la mer poederlienne, la Lys prendre également son autonomie vers la même époque, et, enfin, nous voyons le reste du grand courant fluvial primitif évoluer (1), pendant le Campinien, vers la vallée de l'Escaut actuel, puis s'y installer définitivement comme tel.

Du groupe Dyle, Demer, Nèthes, Geetes, il y a peu de temps, nous ne savions absolument rien.

De même, pour le cours inférieur de la Lys, de l'Escaut, de la Dendre et de la Senne, les courbes de M. van Overloop ne nous enseignaient pas davantage que ce qui vient d'être dit.

Mais actuellement, grâce à nos travaux sur le Flandrien, nous savons au contraire tout ou presque tout ce qui est nécessaire, dans les grandes lignes.

Or, nous avons vu, dans le travail relatif au Flandrien, que les sédiments de cette mer avaient moulé l'état physique existant pendant la période précédente, c'est-à-dire pendant le Quaternaire moyen.

Mais, à son tour, le Quaternaire moyen n'est pas une période d'éro-

(1) D'après les tracés de M. van Overloop, il est probable que, entre le stade Dendre et le stade Escaut, il a existé, au commencement du Campinien, un stade intermédiaire correspondant à la vallée de la Rhosne actuelle.

Digitized by Google

sion, bien au contraire : c'est la période du grand dépôt du limon de crues.

Les phénomènes qui ont agi à cette époque n'ont donc pas été capables de modifier en rien la position des vallées; ils n'ont pu que perpétuer un état de choses préexistant et cet état de choses est celui qui existait pendant le Campinien.

Donc la disposition fluviale pendant le Hesbayen, indiquée dans la première partie de ce travail, est aussi celle qui s'est constituée pendant le Quaternaire inférieur, sauf quelques modifications aux embouchures.

En conséquence, pendant le Campinien, — attendu que le sol était sensiblement plus élevé que lors du Hesbayen, — les dispositions fluviales suivantes devaient exister :

La Lys, l'Escaut et l'ancien Rupel constitué par la réunion de la Dendre, de la Senne, de la Dyle et des deux Nèthes, *se rencontraient tous à Gand;* seulement, au lieu de se jeter dans un golfe marin comme celui qui devait exister pendant les premiers temps de l'époque flandrienne, il est vraisemblable que toutes ces eaux se concentraient dans une large vallée unique et évasée ou estuaire, poussant droit vers le nord.

C'est cet estuaire qui, envahi plus tard par les eaux marines, lors du Flandrien, a constitué le golfe de Gand, qui a lui-même disparu à nos regards, sous les sédiments déposés pendant l'envahissement maximum de la mer flandrienne.

Donc, non seulement nous avons établi le sens et l'amplitude relative des divers mouvements du sol qui se sont produits depuis l'Oligocène, mais nous avons pu mettre chaque fois en regard les grandes lignes du régime fluvial correspondant.

De tout ceci, il ressort immédiatement un fait d'une très grande importance et qui devait être prévu, dès que l'on concevait l'existence de courants fluviaux dans notre pays, vers la fin des temps tertiaires.

Ce fait, c'est l'établissement d'une différence d'âge dans les cailloutis situés aux diverses altitudes.

Le mouvement en éventail qu'a effectué, dans le cours des derniers âges tertiaires, le grand courant fluvial de l'Escaut, primitivement dirigé sud-ouest = nord-est et que nous trouvons orienté nord-nord-est = sud-sud-ouest à l'aurore des temps quaternaires, après avoir passé par la direction sud-nord, a produit le vaste arasement dont nous constatons aujourd'hui l'ampleur. Non seulement ce déplacement des eaux a arasé horizontalement, mais encore, comme dans la suite des déplacements de l'est vers l'ouest, il y avait continuité du creusement, il y a eu arase-

Digitized by Google

ment selon un plan incliné est-ouest, ce plan partant de l'altitude (actuelle) 150 à l'est — premier stade de la période de la Senne — pour aboutir à l'altitude 5 (actuelle) environ.

L'arasement maximum, à compter des rives actuelles de l'Escaut, ou plutôt du fond de sa vallée dépouillée de ses alluvions, est donc d'environ 145 mètres; c'est ce qui se vérifie pleinement dans les *témoins* de la plaine primitive, tels que les collines des environs de Renaix, où l'on voit que la dénudation du pliocène au campinien a successivement enlevé toute la série des terrains : Diestien, Asschien, Ledien, Laekenien, Paniselien et une bonne partie de l'Ypresien.

Depuis l'époque diestienne jusqu'à la fin du Campinien, un même phénomène fluvial s'est produit, celui de l'arasement progressif de la plaine primitive, de plus en plus profond en allant de l'est vers l'ouest. Ce même courant fluvial, venant des mêmes plateaux sud, n'a guère pu amener, pendant toute sa période d'activité, que les mêmes matériaux; et le plateau qui a donné naissance au courant fluvial devenu l'Escaut est principalement formé de craie à silex.

Ce ne sont guère que des silex crétacés qui ont pu être apportés par les eaux et c'est ce qui explique l'homogénéité — du moins apparente jusqu'à preuve contraire — de la grande nappe caillouteuse qui a recouvert les sommets.

Mais, comme nous savons que le grand courant fluvial de l'Escaut suivait d'abord un cours dont le thalweg correspondait approximativement à la vallée de la Senne actuelle et que ce stade fluvial correspond à son tour à l'époque diestienne, il s'ensuit que le cailloutis et les sables déposés par le courant fluvial pendant qu'il est resté orienté suivant la vallée de la Senne, *sont diestiens*.

Toutefois, comme ce cailloutis et ces sables ressemblent à ceux des époques postérieures, un seul caractère peut les distinguer : c'est leur altitude. Or, M. van Overloop nous montre à l'évidence que, pour ce qui concerne le bassin de l'Escaut, la passe initiale provenant de l'érosion du courant fluvial a dû commencer à exister à une altitude qui — après bien des vicissitudes — est devenue de nos jours la cote 155.

D'autre part, le stade Senne a pris fin alors que le creusement était parvenu à une autre altitude, qui est devenue aujourd'hui 85 environ.

Donc nous pouvons dire que les sables et cailloutis fluviaux situés entre les altitudes actuelles 155 à 85 sont d'âge diestien (1).

(1) Il va sans dire que ces chiffres ne s'appliquent qu'au bassin de l'Escaut et à la Belgique moyenne; en France, ces cotes s'élèvent sans doute proportionnellement.

Digitized by Google

Le stade Dendre, déterminé ci-dessus comme d'âge scaldisien-poederlien, a commencé vers l'altitude 85 pour prendre fin vers l'altitude 70.

Donc les sables et cailloutis fluviaux situés aujourd'hui entre les altitudes 85 à 70 sont d'âge scaldisien-poederlien (1).

Enfin, le stade Escaut moyen et supérieur correspondant au Quaterternaire inférieur (Moséen stade Rhosne et Campinien stade Escaut) commence à l'altitude 70 pour aboutir à l'altitude 5 environ. *Donc les sables et cailloux fluviaux compris entre les cotes 70 et 5 sont d'âge quaternaire inférieur.* Dans ce cas, le Moséen correspondrait à l'arasement qui s'est effectué entre 70 et 57 mètres.

Cette déduction fait maintenant comprendre certaines observations qui n'avaient pas échappé aux géologues, mais qui étaient aussi embarrassantes qu'inexplicables.

C'est que les ossements des grands Vertébrés (Mammouth et *Rhinoceros tichorinus*) ainsi que les silex taillés par l'homme de la même époque, ne se rencontraient *jamais* dans les cailloutis des hauts niveaux du bassin de l'Escaut, mais seulement aux moyens et aux bas niveaux.

Ce n'est pas au sommet du mont Panisel (cote 107, donc sommet datant de la fin de l'époque diestienne) que l'on rencontre les silex mesviniens, ainsi que les Mammouths et les Rhinocéros, mais entre les cotes 60 et 45, c'est-à-dire vers la limite du Moséen et du Campinien.

De même, on trouve parfois des ossements de Mammouth dans les alluvions anciennes du fond de nos vallées; or nous voyons que ces alluvions se classent maintenant dans le Campinien : l'accord est donc complet.

D'autre part, il existe au Musée royal d'histoire naturelle des ossements de grands Vertébrés, probablement d'âge plus ancien que le Mammouth et le *Rhinoceros tichorinus* et dont l'étiquette porte comme localité « Liedekerke », sans que l'on sache dans quelles conditions ils ont été trouvés.

A Liedekerke, nous sommes dans la vallée de la Dendre, qui s'est

(1) Cette déduction donne une très grande importance à la découverte faite il y a quelques années, par M. Mourlon, à Ixelles, à la villa Solbos, d'un riche gisement de Mammifères fossiles, situé entre les altitudes 73 et 80, et ne renfermant pas la faune quaternaire ordinaire. Cette faune, composée de débris de Hyène, Éléphant, Cheval, Cerf, Bison et Bœuf, semble présenter certaines analogies avec celle du Moséen. L'étude détaillée de cette faune serait d'un très grand intérêt. (M. Mourlon, *Sur la découverte, à Ixelles (lez-Bruxelles), d'un ossuaire de Mammifères, antérieur au diluvium.* Bull. Acad. roy. de Belg., 3e série, t. XVII, 1889.)

Digitized by Google

creusée à l'époque scaldisienne-poederlienne et qui a acquis son autonomie pendant le Moséen; on conçoit donc que des ossements de Vertébrés d'âge plus ancien que le Mammouth puissent y avoir été rencontrés.

C'est dans ces conclusions que réside, en réalité, la plus grande modification introduite par nos nouvelles vues sur le Quaternaire.

Jusqu'ici, nous étions toujours partis de l'idée que les vallées n'avaient commencé à se creuser qu'à dater de l'époque quaternaire. Il était donc tout naturel de croire que tous les sables et les cailloux qui ont couvert d'une nappe continue la plaine primitive étaient contemporains du Quaternaire inférieur, alors que nous considérions le cailloutis du fond des vallées comme Quaternaire moyen (Hesbayen).

C'est donc là une idée fausse, qu'il sera probablement difficile de déraciner.

D'autre part, la démonstration nouvelle de l'âge tertiaire des cailloutis et des sables des hautes altitudes vient fort à point pour porter la lumière sur certaines observations déjà anciennes, mais dont on n'avait guère pu tirer parti.

Je veux parler de ces étranges dépôts sableux et caillouteux avec silex et nombreux quartz roulés, signalés pour la première fois par M. E. Delvaux au sommet du Pottelberg, près Renaix, puis au Mont-Rouge, au Mont de la Musique et au sommet du Mont de Castre, entre Bruxelles et Enghien.

Bien que M. Delvaux, dans son *Compte rendu de la session extraordinaire de la Société géologique de Belgique à Audenarde, Renaix, Flobecq et Tournai en 1884* (Ann. Soc. géol. de Belg., t. XII, *Bull.*, 1885), tende à maintenir ouverte la question de la position stratigraphique de ces dépôts, je persiste — à la suite de mes observations faites aux sommets des monts Rouge, Aigu, de la Musique et de Castre — à croire que ces dépôts ravinent profondément la Diestien normal, marin et même les couches tertiaires plus anciennes (Castre), et que les influences fluviales entrent pour beaucoup dans leur formation.

D'autre part, l'altitude atteinte par ces dépôts entre 157 mètres et 90 mètres, indique une grande ancienneté.

Remarquons encore que, vers l'ouest, M. van Overloop n'a pu établir la rive gauche du grand courant fluvial du stade *A* à 133 mètres et que le premier tracé qu'il ait pu figurer est celui du stade *B* à 119 mètres.

Enfin, ajoutons que les limites de la mer diestienne ont dû passer à plusieurs kilomètres au sud des collines de Renaix. A mon avis, les couches du Pottelberg représentent donc l'apport du grand courant

Digitized by Google

fluvial peu profond, mais très étendu, dont nous ne connaissons pas encore la rive gauche, qui se jetait dans la mer diestienne aux environs de Renaix et qui a poursuivi pendant quelque temps cette mer lors de son retrait vers le nord.

Plus tard, le creusement s'étant principalement opéré vers l'est (vers Castre, où la base du dépôt descend jusque 90 mètres), les eaux se sont localisées dans la partie approfondie et n'ont plus pu passer au-dessus des altitudes de Renaix; c'est ce qui explique la formation, à l'est de Renaix, de la ligne de rive *B* de M. van Overloop, puis successivement des rives *C* et *D* en retrait vers l'est.

Le grand courant fluvial diestien a donc ici opéré comme le fleuve landenien des environs de Landen, qui a poursuivi la mer landenienne en retraite vers le nord et en a creusé successivement les sédiments jusqu'à entamer le Heersien et le Crétacé sous-jacent.

Tels sont les traits principaux qui résultent de l'étude que nous avons entreprise pour la solution de la question posée.

Pour les besoins mêmes de l'étude, ayant à suivre la méthode scientifique consistant à partir du connu pour aller vers l'inconnu, j'ai dû remonter le cours des âges au lieu de suivre celui-ci.

Il peut en résulter pour le lecteur un peu de confusion dans la notion de la chronologie des faits.

C'est pour cette raison que je crois utile, dans un dernier chapitre, de présenter la synthèse de toute cette étude et de rapporter, chronologiquement, tous les événements qui se sont passés et principalement les mouvements du sol et leurs conséquences sur l'hydrographie du pays, depuis les temps oligocènes jusqu'à nos jours (1).

(1) Pour ce qui concerne les temps modernes, je me réfère au travail que j'ai présenté au Congrès historique et archéologique de Gand, XIe session, août 1896, et intitulé : *Étude des modifications du sol des Flandres depuis que l'homme a pu y établir sa demeure.*

Digitized by Google

EXPOSÉ CHRONOLOGIQUE DES ÉVÉNEMENTS QUI SE SONT PASSÉS EN BELGIQUE DEPUIS LES TEMPS OLIGOCÈNES JUSQU'A NOS JOURS.

Ère tertiaire.

Époque oligocène.

Les dépôts oligocènes, dans notre pays, suivent immédiatement ceux de l'Éocène supérieur.

Le commencement de l'époque oligocène est caractérisé par un très important affaissement du sol, partant du Brabant et se propageant le long des côtes de l'Allemagne du Nord jusqu'à la Baltique.

A l'époque asschienne, dernier terme de l'Éocène supérieur, la mer était localisée dans l'ouest du pays (partie du Brabant et les deux Flandres) et s'étendait vers l'Angleterre (argile de Barton).

Par suite d'un mouvement de bascule, la partie de territoire couverte par la mer asschienne se souleva, tandis que la vaste plaine baltique s'affaissa; la mer, localisée à l'ouest pendant l'Asschien, fut donc refoulée vers l'est et les sédiments du premier terme de l'Oligocène, les sédiments tongriens, se déposèrent : dans les Flandres et le Brabant, sur les dépôts de l'Asschien; dans la partie orientale du Brabant et le Limbourg, sur les sédiments de l'Éocène moyen, de l'Éocène inférieur et du Crétacé supérieur.

Mais, pour ce qui concerne la Belgique, le mouvement d'affaissement du sol ne se localisa pas uniquement vers l'est, il gagna aussi vers le sud-est, car nous voyons les eaux de la mer tongrienne envahir non seulement l'est de notre pays, mais encore la Hesbaye, le Condroz et une partie des Ardennes, qui alors durent se trouver sensiblement plus bas que le sud des Flandres.

Digitized by Google

Diagrammatiquement, l'extension maximum de la mer du Tongrien inférieur peut se représenter de la façon suivante :

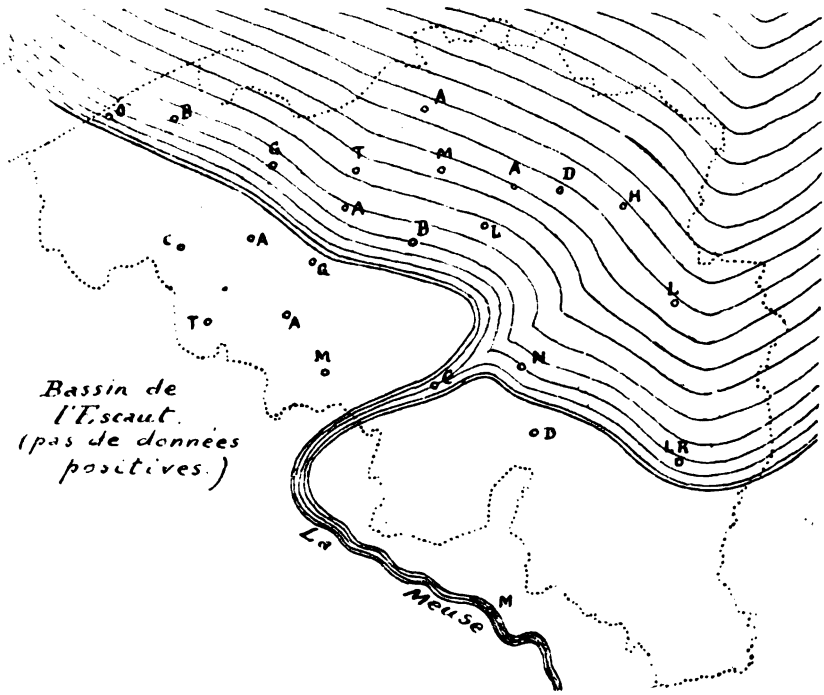


Fig. 1. — La Belgique à l'époque du Tongrien inférieur (1).

Cette large extension marine fut d'assez courte durée et l'Ardenne s'émergea bientôt, rejetant la mer tongrienne vers le nord; mais lorsque les eaux marines furent refoulées jusqu'à la région correspondant, de nos jours, à la vallée du Geer, le mouvement de soulèvement se ralentit, de vastes espaces exondés restèrent à un niveau très proche de celui de la mer et il s'établit sur ces contrées un régime compliqué de lagunes traversées par les bras d'un courant fluvial venant des hauteurs des Vosges.

Ces déductions découlent nécessairement des belles études faites par M. E. Van den Broeck sur le Tongrien et plus particulièrement sur la deuxième phase du Tongrien ou Tongrien supérieur. L'ensemble des deux phases, marine, puis fluvio-lagunaire du Tongrien, correspond à l'*Oligocène inférieur*.

(1) Dans ce croquis et dans ceux qui suivront, les noms des villes sont représentés par leurs initiales (LR = La Roche).

Digitized by Google

Plus tard, un nouvel affaissement du Condroz et de l'Ardenne ouvre la période rupélienne ou Oligocène moyen. Cette période rupélienne comprend également deux phases, toutes deux marines et correspondant à deux oscillations successives.

Le premier affaissement permet à la mer d'envahir une partie du nord-est de notre pays : c'est alors que se déposent les sables de Bergh, l'argile à *Nucula compta* et le sable supérieur.

Au bout d'un certain temps, l'Ardenne se soulève légèrement et la mer se retire vers le nord; mais presque aussitôt, grâce à un affaissement plus prononcé, elle revient sur ses pas, gagne vers l'ouest et dépasse vers le sud sa limite précédente. C'est l'époque du dépôt de l'*argile de Boom*.

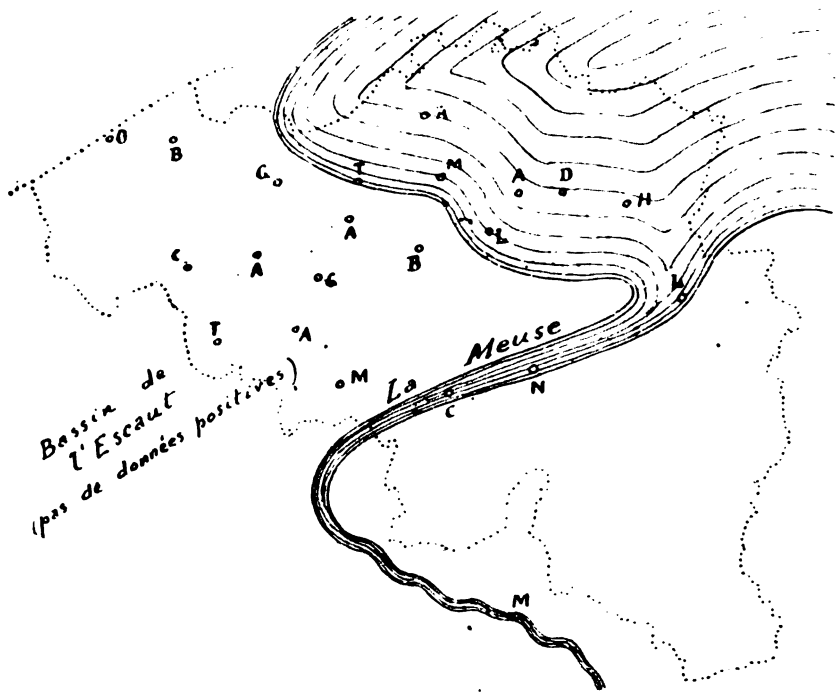


Fig. 2. — La Belgique à l'époque de l'Oligocène moyen.

Ce retour marin fut d'assez longue durée, puis le soulèvement reprend et la mer est rejetée vers la Hollande, laissant émergé tout notre territoire.

C'est ici que vient se placer la première phase de l'histoire de la Meuse, si bien déduite par M. Stainier de ses observations sur le terrain.

Digitized by Google

Un large courant fluvial de 5 à 10 kilomètres de largeur, charriant d'énormes masses de cailloux roulés de quartz blanc venant du Trias des Vosges, coule à la surface de la plaine sableuse émergée, dans une direction qui, de Namur à Liége, concorde approximativement avec celle de la Meuse actuelle.

Toutefois, à partir de Namur, ce cours d'eau ne tourne pas vers Dinant, Givet et Mézières comme actuellement ; il semble se prolonger en ligne droite selon le cours actuel de la Sambre.

Tout nous porte à penser que le courant fluvial, véritable précurseur de la Meuse, suivait effectivement un cours analogue au cours actuel de la Sambre, qu'en remontant il contournait le massif cambrien de Rocroi, se prolongeait vers le sud-est jusqu'aux environs de Mézières (1), puis continuait dans la même direction jusqu'à sa source, par une vallée se rapprochant beaucoup de la vallée actuelle de la Meuse.

Pendant toute la période oligocène et principalement pendant l'Oligocène moyen (Rupélien) et l'Oligocène supérieur (qui manque en Belgique), la partie sud de l'Ardenne a toujours constitué un plateau rocheux relativement élevé. On conçoit donc très bien qu'un courant fluvial venant du sud-est, arrivé vers Mézières, dans une vallée creusée en terrain secondaire, ait dû butter contre le massif rocheux primaire formant barrière et se détourner devant l'impossibilité de le franchir.

Or, à Mézières, il n'y avait que la direction vers le nord-ouest qui pût offrir à un cours d'eau une pente convenable. La future Meuse a donc dû longer la limite sud du massif cambrien ; mais, la pointe sud de l'Ardenne passée, l'influence de la pente générale de la surface du sol vers le nord-est a repris le dessus, le courant fluvial a contourné la pointe et a pris ensuite un cours vers le nord-est, constituant l'ébauche de la vallée de la Sambre actuelle.

Vers la fin de l'Oligocène moyen, l'Ardenne, qui s'était affaissée pour le retour de la mer rupélienne supérieure, s'est encore relevée de manière à faire reculer vers le nord-est la limite des eaux marines.

Il est évident que ce mouvement n'a pu avoir d'autre conséquence que d'accentuer la pente des parties émergées, et le courant fluvial n'a pu qu'acquérir un surcroît d'énergie.

Pour ce qui concerne le bassin de l'Escaut, nous ne savons rien de précis ; toutefois nous pouvons affirmer qu'il devait exister également, dans ces régions, un courant fluvial, probablement très subdivisé, dont

(1) La vallée actuelle de la Sermonne paraît être encore la trace d'une partie de la vallée primitive de la Meuse lorsque, de Mézières, le fleuve poussait à l'ouest pour suivre un parcours analogue à celui de la Sambre.

Digitized by Google

quelques traces nous sont restées, ainsi que nous le verrons plus loin.

Il est également très probable, à cause du grand détour fait par le courant moséen pour contourner le massif cambrien de Rocroi, qu'une partie peut-être importante des eaux qui appartiennent actuellement au bassin de l'Escaut, s'écoulait alors vers la Meuse, vu la pente générale vers le nord-est. Les travaux de M. van Overloop tendent à faire admettre une considération de ce genre.

Le diagramme suivant rend compte de l'état de choses qui devait exister pendant l'Oligocène supérieur.

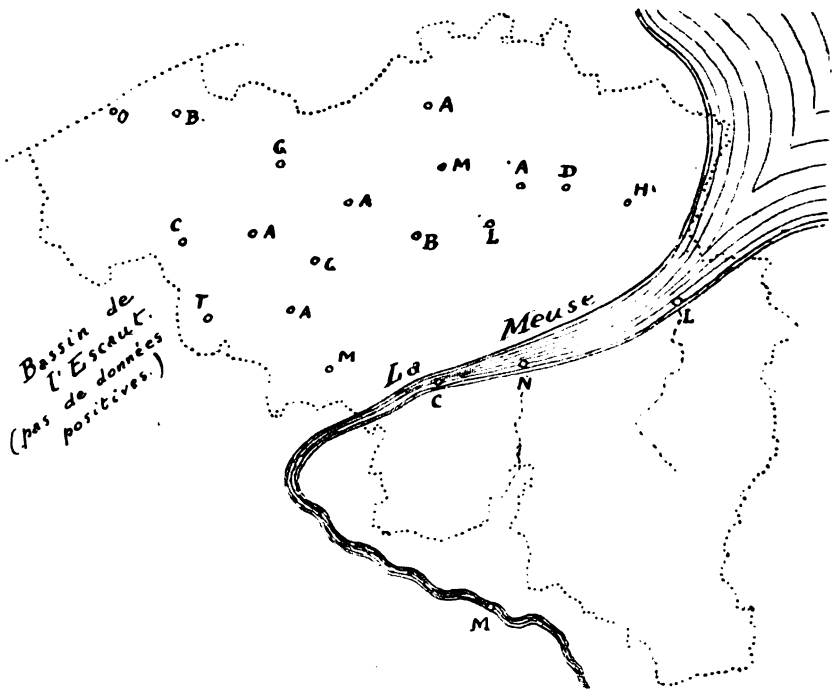


Fig. 3. — La Belgique à l'époque de l'Oligocène supérieur.

Époque miocène.

Le Miocène n'est guère représenté en Belgique que par sa partie supérieure dont les dépôts, d'origine marine, ont reçu le nom de *Bolderien*. Ces dépôts comprennent plusieurs facies; les plus connus sont les sables blancs du Bolderberg et les sables glauconifères, renfermant, près d'Anvers, l'importante faune d'Edeghem.

Pendant plus de la moitié du Miocène, le sol de notre pays est resté

Digitized by Google

tel que nous l'avons laissé à la fin de l'Oligocène : sol continental en pente vers le nord-est, avec un courant fluvial principal correspondant à la Meuse et un courant secondaire correspondant à l'Escaut.

Le diagramme n° 3 représente donc aussi très bien l'état de notre pays pendant le Miocène inférieur et moyen.

Vers la fin du Miocène, la partie nord du pays s'affaisse et la mer, localisée vers l'est, revient couvrir une partie de notre territoire, analogue à celle déjà recouverte à l'époque rupélienne inférieure.

C'est ce que représente le diagramme suivant :

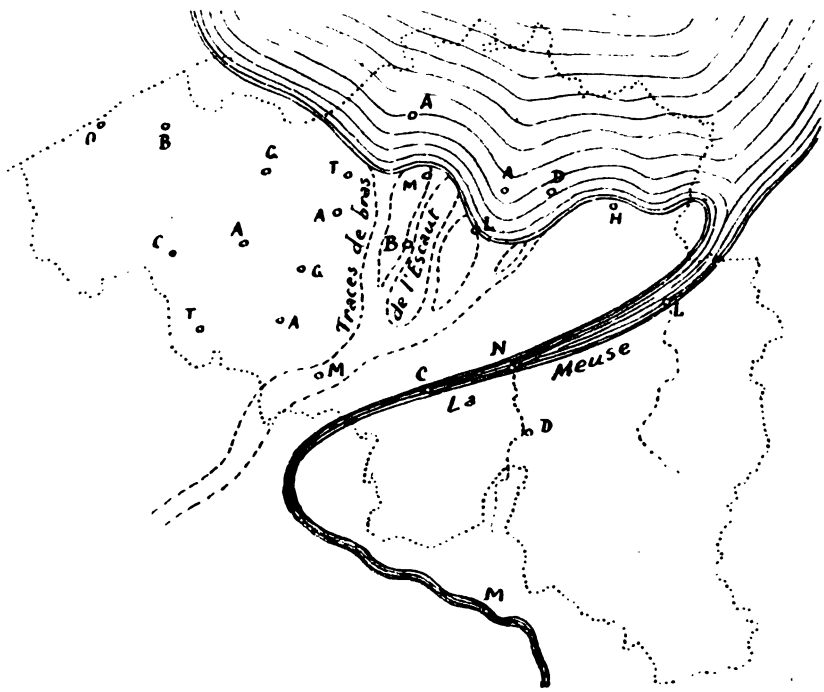


FIG. 4. — La Belgique à l'époque bolderienne (fin du Miocène).

Après un certain temps d'immersion, le sol s'est encore soulevé et a fait reculer les limites de la mer vers le nord, hors de nos frontières.

ÉPOQUE PLIOCÈNE.

Le départ de la mer ne persista pas longtemps, car bientôt, donnant naissance à l'époque pliocène, la partie sud de notre pays s'affaisse très notablement et la mer fait une nouvelle irruption sur notre terri-

Digitized by Google

toire. Bientôt elle pénètre dans les vallées des courants fluviaux et plus spécialement dans ceux du bassin de l'Escaut, atteint l'emplacement de Bruxelles, le dépasse et établit ses rivages, lors de l'envahissement maximum, jusque vers Braine-le-Comte et Nivelles, couvrant une large étendue de sédiments *diestiens*.

Le diagramme suivant rend compte de l'état du pays au moment de l'envahissement maximum de la mer diestienne.

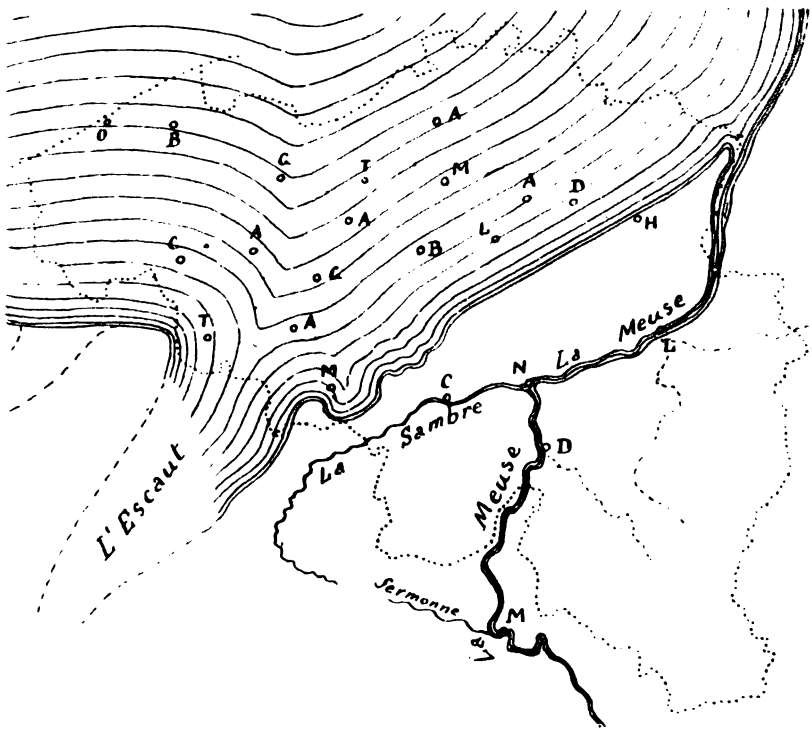


Fig. 5. — La Belgique à l'époque de l'envahissement diestien maximum.

Que se passe-t-il pendant ce temps sur les parties non immergées ?

Il se passe un phénomène important en ce qui concerne le régime fluvial : l'Ardenne s'étant inclinée vers le nord avec le reste du pays, ne forme plus relief, ne forme plus barrière.

A partir de Mézières, le courant fluvial de la Meuse trouve un sol ondulé en pente directe vers le nord. Les eaux, un instant hésitantes, trouvent bientôt une dépression, une passe; elles s'y engouffrent, cou-

Digitized by Google

rent de dépression en dépression droit vers le nord et abandonnent à une rivière nouvelle : la Sambre (1), leur ancien lit courbe, contournant le massif ardennais.

Il est même hautement probable qu'en réalité les eaux de la Meuse n'ont eu à passer que l'ancienne crête et qu'elles ont ensuite rencontré la vallée d'une petite rivière préexistante, dont elles n'ont eu qu'à suivre le cours.

Dès lors, le cours Mézières-Givet-Dinant-Namur est ébauché, les passes s'approfondissent, la vallée définitive se creuse.

Parvenues à Namur, les eaux de la Meuse rencontrent l'ancienne vallée oligocène Namur-Liége, qui leur offre un lit en pente satisfaisant à l'écoulement, et l'état actuel des choses, pour ce qui concerne la Meuse, s'établit.

Pendant ce temps, l'autre courant fluvial, qui devait devenir l'Escaut, continuait à s'écouler du sud-ouest au nord-est. A l'époque diestienne, ce courant semble avoir acquis une réelle importance, car nous avons vu qu'à cette époque, la rive droite du courant passait vers Nivelles, conformément au tracé *A* de M. van Overloop, tandis que nous ignorons complètement où se trouvait primitivement la rive gauche, rejetée probablement en France, vu que les rivages de la mer diestienne s'avançaient jusque Tournai.

Les multiples bras de ce courant extrêmement large, mais très peu profond, suivaient évidemment les ébauches de vallées creusées par le courant d'eau douce prédiestien, vallées qui se prolongeaient précédemment vers le nord jusqu'aux rivages de la mer bolderienne et que nous trouvons, de nos jours, comblées par les sédiments diestiens.

C'est ce qui explique ce que nous disions ci-dessus, que nous avions connaissance de traces des courants du bassin de l'Escaut pendant l'Oligocène et le Miocène ; ces traces nous ont été conservées intactes, grâce à leur enfouissement sous la masse des sédiments marins du Diestien (2).

Après l'envahissement maximum de la mer diestienne, la partie sud du pays se souleva et la mer fut refoulée vers le nord.

(1) Je suis d'avis qu'il y a lieu de considérer la vallée actuelle de la Sermonne, rivière qui se jette dans la Meuse à Mézières, comme le reste de l'ancien courant fluvial oligocène de la Meuse, alors qu'elle contournait l'Ardenne.

(2) Un bras de ce courant prédiestien nous est connu vers Cortenberg, à l'est de Bruxelles; un autre vers Bekerzeel et Zellick (ouest de Bruxelles). Il en existe aussi au nord-est de Louvain, ainsi que M. Van den Broeck nous l'a montré (voir fig. 4).

Digitized by Google

Il est évident, d'abord, que tous les cours d'eau se mirent à la poursuite de la mer en retraite, et ce avec d'autant plus d'énergie que la pente de leur lit s'accentuait.

C'est ce que fit la Meuse, qui se mit à creuser énergiquement son nouveau cours Mézières-Givet-Dinant-Namur; c'est ce que fit également le courant Escaut, qui se creusa une rainure plus particulièrement profonde le long d'une ligne qui correspond très approximativement à la vallée actuelle de la Senne.

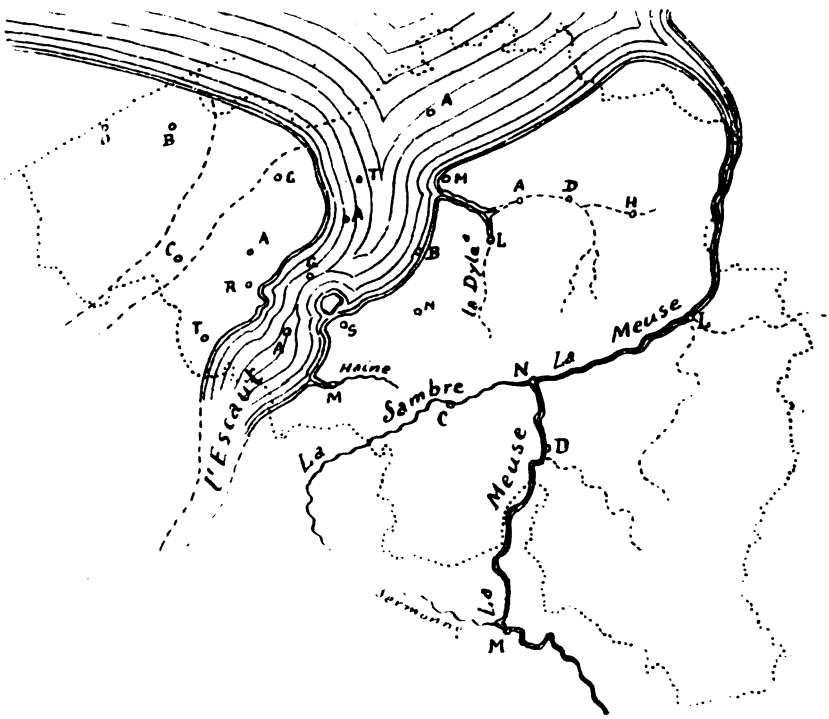


Fig. 6. — La Belgique vers la fin de l'époque diestienne. Stade Senne de l'Escaut.

Alors que le rivage de la mer diestienne avait reculé de quelques kilomètres vers le nord, le lit principal s'était déjà approfondi d'une vingtaine de mètres, et c'est alors que, le volume des eaux n'ayant pas augmenté, le courant, d'abord presque sans bornes vers l'ouest, se ocalisa, car nous voyons, avec M. van Overloop, une rive gauche se dessiner entre Renaix et Ath.

Successivement, nous voyons les deux rives non seulement se rap-

Digitized by Google

procher petit à petit, mais se prolonger toujours plus loin vers le nord à la poursuite de la mer diestienne en retraite, assurant ainsi l'autonomie de la vallée de la Haine.

Le rapprochement progressif des deux rives du courant fluvial correspond évidemment à un creusement de plus en plus prononcé de la vallée principale, que nous avons vue être dirigée suivant la vallée de la Senne actuelle, et ce creusement plus prononcé, lui-même, correspond à l'accroissement continu de la pente générale vers le nord-nord-est, dû au soulèvement de la région sud du pays.

Vers la fin de l'époque diestienne, alors que le soulèvement maximum avait rejeté les rivages de la mer vers la frontière de Hollande, la pente de la plaine émergée dut également être très forte et les courants fluviaux Meuse et Escaut durent acquérir un maximum d'énergie ravinante.

La Meuse creuse énergiquement sa vallée; ses méandres façonnent les berges rocheuses à pic du côté du courant convexe, tandis qu'elle façonne ses terrasses supérieures du côté concave.

Quant au courant Escaut, dont M. van Overloop nous montre la rive droite passant à l'est de Hal et à l'ouest de Soignies et de Mons, tandis que la rive gauche avance très lentement vers Lessines, Ath et Leuze, nous pouvons nous l'imaginer à allure torrentielle, aux eaux écumantes et rapides affouillant le terrain, creusant, au sud la craie, puis en descendant vers le nord, les terrains anciens, puis les sables tertiaires, attaquant les sables déposés par la mer diestienne, puis les argiles rupélienne, tongrienne et asschienne. Les sables sont entraînés au loin par le courant, les fragments durs : silex de la craie, roches primaires diverses (Cambrien, Silurien, Devonien et Houiller), grès paniseliens, bruxelliens, bancs ferrugineux diestiens, sont arrachés, roulés, transportés pêle-mêle et, à un moment donné, jonchent la surface de l'immense plaine d'un véritable manteau de détritus rocheux où les silex de la craie dominent.

Peu à peu, à côté de quelques sillons déjà bien dessinés, des rigoles profondes sont creusées aux points plus facilement attaquables.

Dans ces rigoles se concentrent des parties de plus en plus importantes du courant, et l'approfondissement s'opère là avec vigueur.

Bientôt les eaux qui, d'abord, s'épanchaient en un vaste torrent superficiel, se trouvent localisées dans un certain nombre de dépressions, de passes, de sorte que des parties du manteau détritique superficiel sont mises à l'abri de l'entraînement.

Digitized by Google

Les vallées continuent à s'approfondir, les parties plus élevées qui les séparent gagnent en altitude relativement au niveau des eaux qui s'abaisse, et nous voyons ainsi s'ébaucher les premiers reliefs de l'orographie actuelle, témoins de l'extension et de l'altitude de la plaine primitive, couronnés au sommet du cailloutis qui s'y était précédemment déposé.

Mais le soulèvement prit fin, et presque aussitôt un mouvement d'affaissement se produisit, inaugurant la *période scaldisienne*.

Si nous jetons maintenant un regard en arrière pour voir le travail fluvial effectué pendant la période diestienne, nous pouvons constater, d'après M. van Overloop, que le travail d'arasement opéré dans le lit du grand courant fluvial de l'Escaut peut être évalué en soustrayant de la cote 160, la cote 85; l'érosion du courant fluvial de l'Escaut pendant le Diestien a donc été de 75 mètres.

Enfin, ajoutons que, puisque depuis la deuxième partie de la période diestienne nous voyons apparaître une rive gauche au courant fluvial de l'Escaut, c'est qu'un courant s'est détaché à l'ouest du courant général primitif pour constituer la future Lys. Nous croyons donc que le bassin de la Lys a pris son autonomie, dans notre pays, vers la fin de l'époque diestienne.

Avec l'affaissement qui provoque l'arrivée de la mer scaldisienne dans le nord de notre pays, concorde une accalmie dans la vitesse des eaux, sans modifications sensibles des cours; mais lors du soulèvement qui a rejeté la mer scaldisienne vers le nord-nord-ouest, un changement dans la pente générale de la partie continentale se produit. Cette pente, qui était sud-sud-est pendant le Diestien, passe au nord avec une tendance vers l'ouest. C'est ce qui explique le commencement du mouvement en éventail opéré par le courant Escaut, si bien décrit par M. van Overloop. La direction principale Senne ne peut plus convenir et la rive gauche du courant, sous l'impulsion de l'inclinaison due au soulèvement, avance vers l'est et tend à s'approcher de la direction Dendre. Pendant un certain temps, ce creusement fut ralenti lors de la première phase de l'oscillation qui a permis à la mer *poederlienne* d'envahir à nouveau le nord de notre territoire; mais lors de la deuxième phase de l'oscillation, c'est-à-dire la phase d'émersion, les eaux fluviales reprirent leur action ravinante sous l'influence de la pente vers le nord-ouest qui s'accentuait, et le *stade Dendre* de M. van Overloop s'accomplit.

Le diagramme suivant fera plus facilement comprendre l'état phy-

Digitized by Google

sique du pays à l'époque de l'envahissement maximum de la mer poederlienne.

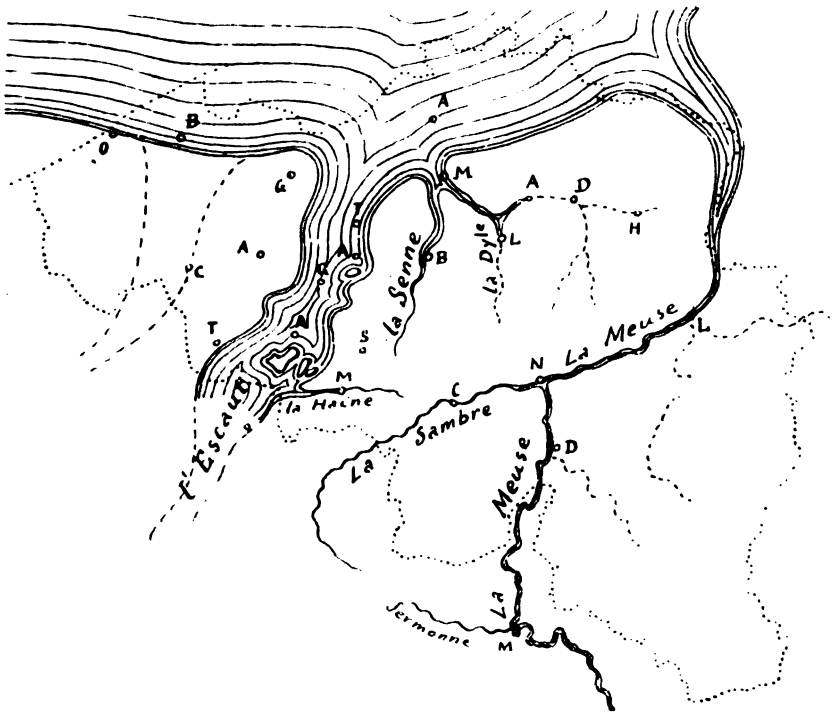


Fig. 7. — La Belgique lors de l'envahissement maximum de la mer poederlienne.

Nous savons que, depuis le soulèvement qui a forcé la mer diestienne à la retraite, la Meuse a commencé le creusement de sa vallée actuelle. A partir des environs de Visé, il est probable que le courant fluvial s'épanouissait largement et prenait une direction nord-ouest en poursuivant la mer poederlienne dans sa retraite.

Ère quaternaire.

Époque moséenne.

Ainsi que M. Mourlon nous l'apprend, l'époque tertiaire n'a point clôturé, pour notre pays, l'ère des incursions d'eaux marines.

Le début même des temps quaternaires coïncide avec une de ces invasions. La répartition des dépôts moséens, indiquée par les sondages

Digitized by Google

de M. Mourlon, nous les montre comblant de leurs sédiments, d'abord marins, le large estuaire servant de décharge au courant de la Meuse dans la mer poederlienne en retraite.

Après le soulèvement qui a occasionné cette retraite, un nouvel affaissement a donc dû se produire dans la partie nord-est de notre pays, pendant lequel les eaux marines sont revenues faire une incursion dans le delta de la Meuse jusque vers Bilsen et Maestricht. Après avoir comblé en grande partie ce delta de sables blancs, assez régulièrement stratifiés, la mer moséenne a été rejetée vers le nord-ouest, c'est-à-dire vers le sud-est de l'Angleterre, par un soulèvement de l'Ardenne, tandis que la Meuse s'est mise à sa poursuite dans la même direction (1), commençant à se recreuser un delta au travers des sédiments moséens accumulés. Nous avons vu que pendant cette retraite de la mer moséenne, un régime fluvio-lagunaire s'est établi dans le delta de la Meuse, car au-dessus des sables marins se sont déposées, surtout vers l'ouest, des argiles avec débris de Cervidés et de Bisons, exploitées en Campine pour la fabrication des briques, et plusieurs niveaux tourbeux sont indiqués dans la masse.

Pour ce qui concerne le bassin de l'Escaut, nous avons vu le grand courant fluvial, pendant le Scaldisien et le Poederlien, se déplacer lentement vers l'ouest, mais d'une façon continue, et passer du *stade Senne* au *stade Dendre*.

Pendant le Moséen, le mouvement en éventail du courant fluvial de l'Escaut a dû se continuer, c'est-à-dire que la tendance à l'arasement vers l'ouest a dû se perpétuer, la pente générale du continent vers le nord-ouest s'étant nettement déclarée lors du retrait vers le nord-ouest de la mer moséenne.

On peut donc, avec grande vraisemblance, attribuer l'ébauche du stade intermédiaire *Rhosne* de M. van Overloop au temps et à la pente nécessités par le départ de la mer moséenne.

Il est hautement probable que c'est pendant la durée de l'époque moséenne que l'homme a fait son apparition dans notre pays. A cette époque, en effet (le diagramme suivant, fig. 8, le montre), notre pays était essentiellement habitable, et c'est en parcourant notre sol, dont la partie comprise entre le courant fluvial de l'Escaut et la Meuse et la région à l'est de la Meuse se couvraient de forêts, qu'il a abandonné

(1) M. Harmer, qui a étudié les dépôts pliocènes et post-pliocènes formant bordure le long de la côte sud-est de l'Angleterre, signale, dans des couches qui semblent être plus ou moins synchroniques du Moséen (*argile de Chillesford*), de nombreux cailloux roulés de l'Ardenne et du Rhin.

Digitized by Google

les premiers restes connus chez nous de son industrie (*industrie mesvinienne*) sous le cailloutis de base, c'est-à-dire avant le commencement de l'époque campinienne, qui suit immédiatement la période moséenne.

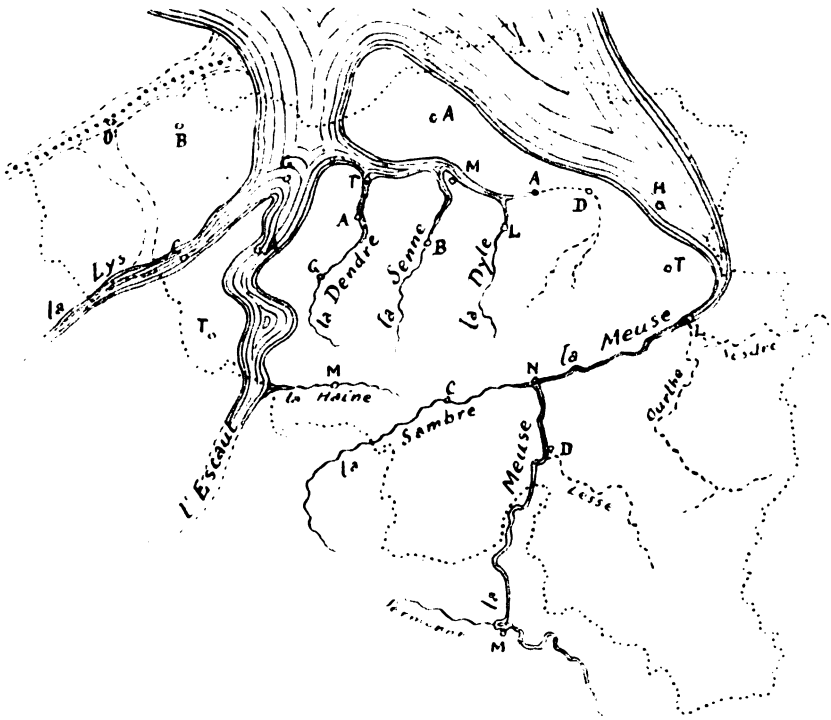


FIG. 8. — La Belgique pendant l'époque moséenne.

ÉPOQUE CAMPINIENNE.

On conçoit que le soulèvement nécessaire pour provoquer le départ de la mer moséenne assez loin vers le nord-ouest pour que des cailloux de l'Ardenne aient pu être entraînés par les eaux de la Meuse jointes à celles du Rhin jusque sur les côtes d'Angleterre, ait dû être *très considérable*.

Mais si ce mouvement a été très considérable, il a eu pour premier effet de donner à notre sol de *fortes pentes vers le nord-ouest*.

D'un autre côté, nous savons que, d'une part, la Meuse avait déjà pris son cours actuel par Givet et Dinant, tandis que l'Escaut s'étalait en un courant encore assez large, suivant un cours intermédiaire entre le stade Dendre et le stade Escaut, cours intermédiaire que M. van

Digitized by Google

Overloop croit, avec raison, dirigé suivant la vallée actuelle de la Rhosne, les hauts sommets des collines de Renaix constituant une barrière de près de 100 mètres au-dessus du niveau des eaux de l'époque.

Les fortes pentes constatées eurent pour conséquence immédiate la transformation du régime relativement modéré des eaux moséennes *en un régime torrentiel très accentué.*

Au fur et à mesure que le mouvement de soulèvement se produisait, la vitesse des eaux s'accroissait, et bientôt leur violence fut telle que toutes les anciennes alluvions répandues sur leur lit furent entraînées et charriées au loin vers la mer.

C'est alors que la Meuse creusa énergiquement sa vallée actuelle, celle au fond de laquelle nous la voyons de nos jours.

Tous les cailloux de l'Ardenne qui encombraient précédemment son lit furent donc entraînés par le courant jusque dans la Campine, et là, la vallée cessant d'être encaissée dans les roches primaires et s'ouvrant largement suivant l'ancien estuaire moséen, l'énorme masse de cailloux s'arrêta faute de vitesse, couvrant les dépôts moséens de l'ancien estuaire d'un amas colossal de cailloux roulés, dont l'épaisseur peut atteindre 20 mètres.

Telle est donc l'origine de l'immense amas de cailloux couvrant la Campine limbourgeoise, et qui a donné son nom à la période campinienne où nous sommes arrivé.

De même que pour la Meuse, les eaux du courant Escaut prirent l'allure torrentielle, et elles se mirent à creuser énergiquement, toujours avec la tendance à reculer vers l'ouest.

Mais comme le régime normal des pluies ne s'était pas sensiblement modifié, le creusement opérait surtout une concentration d'eaux dans les passes, tandis que les hauts-fonds se transformaient rapidement en îles, puis en chaînes de collines séparées, jetées en travers du grand courant.

D'autre part, comme le maximum d'érosion des rives avait principalement lieu vers l'ouest, les eaux se rassemblèrent de préférence dans cette direction, quittèrent une à une les passes, et les îlots formant collines, d'abord isolés par les passes, se rejoignirent et empêchèrent désormais le passage des eaux.

C'est ainsi, comme le montre M. van Overloop, que, peu à peu, les eaux du courant fluvial se virent barrer le chemin par une suite de collines dirigées de l'est à l'ouest, entre Leuze et Tournai. Toutefois, vers l'ouest, les hauteurs de la ligne de crête de l'Entre-Escaut-et-Lys ne permirent pas un recul indéfini du courant vers l'ouest, et le fleuve,

Digitized by Google

après avoir divagué par Valenciennes et Condé, fut successivement rejeté de Blaton vers Péruwelz par une série d'îlots, puis enfin vers Antoing et Tournai; *c'est à cette époque que la vallée actuelle s'ébaucha.* Mais cet instant coïncida sans doute avec la dernière période du soulèvement campinien, *c'est-à-dire avec la période de violence maximum des eaux,* de sorte que celles-ci, maintenues vers l'ouest par la ligne de crête d'Entre-Escaut-et-Lys et concentrées le long de cette ligne, tournèrent tout leur effort vers le creusement en profondeur.

Le temps perdu en divagations fut donc rapidement racheté, et un creusement d'une cinquantaine de mètres fut probablement effectué en un temps relativement court.

Cependant, à un moment donné, le soulèvement prit fin, et un mouvement en sens inverse s'accusa.

Dès lors, le régime torrentiel, déjà sensiblement ralenti par l'effet du creusement considérable des vallées, se calma davantage encore; bientôt les eaux n'eurent plus la force de charrier au loin les matériaux arrachés à leurs rives et, aussi bien dans la Meuse que dans l'Escaut et dans les vallées secondaires : Senne, Dendre, etc., les alluvions du fond des vallées se déposèrent.

La Meuse, au lieu de jeter ses cailloux dans la Campine, en tapissa ses terrasses et son lit; l'Escaut amassa ses alluvions le long de son cours, rehaussant ainsi d'autant le fond de sa vallée.

Vers la fin du Campinien, la Meuse chercha sans doute péniblement sa voie au travers de son delta encombré, vers les plaines du nord sans pente; quant à l'Escaut, nous savons, par l'étude de l'épaisseur des sédiments flandriens, qu'il suivait sa vallée actuelle jusque Gand où il rencontrait la Lys à l'ouest, un énorme Rupel à l'est, et que ce volume d'eau considérable suivait son cours droit vers le nord, formant une sorte d'estuaire qui, vers Terneuzen, rencontrait probablement un haut-fond forçant les eaux à se bifurquer, les unes se dirigeant vers le nord à la rencontre du bras le plus méridional de la Meuse, les autres se dirigeant vers l'ouest pour se jeter dans la mer, dont aucune partie ne semble se trouver sur notre territoire.

Je tire ces conclusions, non encore émises jusqu'ici, de ce qui a pu être constaté au puits artésien de Flessingue.

Sous Flessingue, au lieu de voir les sédiments flandriens continuer à s'approfondir, nous les voyons, au contraire, diminuer d'épaisseur, et les couches tertiaires (poederliennes) s'élever; il est donc vraisemblable qu'après avoir pris au nord de Gand la direction nord, les eaux se bifurquaient devant le haut-fond, ainsi que nous l'avons dit ci-dessus.

Digitized by Google

L'absence actuelle de documents rend du reste ce problème encore très obscur.

Signalons encore, pendant l'époque campinienne, l'existence d'un cours d'eau assez important, qui avait sa source vers la crête de l'Artois et qui avait dû, grâce au régime torrentiel, se creuser une profonde vallée dont la direction concordait très approximativement avec celle de notre côte marine actuelle.

Enfin, vers la fin de la période campinienne, il dut s'établir, grâce au creusement des vallées et à l'affaissement du sol qui réduisit la pente au maximum, un régime de tranquillité qui permit à une végétation herbeuse de se propager, ainsi que le démontre le lit tourbeux ou d'humus, qui se rencontre parfois au sommet des sédiments campiniens.

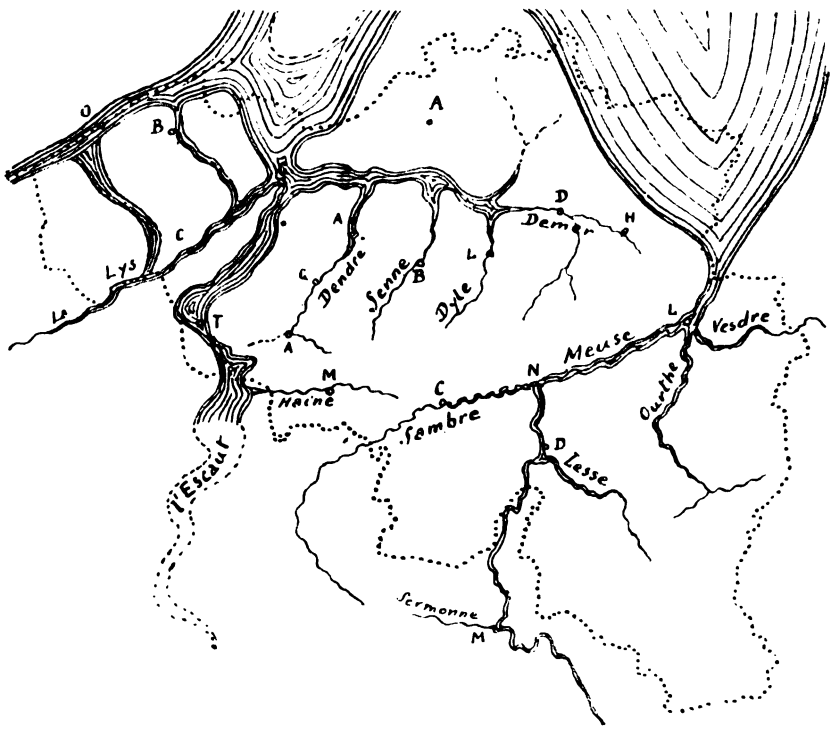


Fig. 9. — La Belgique vers la fin de la période campinienne.

L'homme, qui avait continué à errer sur notre sol émergé pendant la période campinienne, abandonne ses ustensiles de silex à la surface des dépôts du Campinien, successivement mis à sec par le déplacement latéral du courant de l'Escaut.

Digitized by Google

Toutefois, dès le commencement du Campinien, une évolution s'est produite, soit que l'homme indigène ait, de lui-même, perfectionné son industrie, soit plutôt que des peuplades qui habitaient vers le sud, dans la vallée de la Somme, soient venues faire des incursions dans nos régions. Nous voyons en effet dans les dépôts caillouteux du sol qui vont constituer le cailloutis de base des limons de la période hesbayenne suivante, répandus de nombreux spécimens de hache en amande, types de l'industrie acheuléenne, et de plus nombreuses pointes moustériennes, qui viennent remplacer l'industrie primitive ou mesvinienne.

C'est aussi vers la fin de l'époque campinienne que la Meuse ayant creusé complètement sa vallée, l'homme, sans doute forcé par la rigueur du climat (1), alla s'établir dans les cavernes mises à découvert par le creusement intense; il en fut de même pour les cavernes des vallées de la Lesse, de la Méhaigne, de la Vesdre, etc.

Enfin, c'est pendant la même période d'habitabilité relative que nous voyons s'étendre et prospérer sur notre sol la grande faune quaternaire, celle du Mammouth, du *Rhinoceros tichorinus*, de l'Ours et de l'Hyène des cavernes, du Bœuf musqué, du grand Cerf d'Irlande, etc.

Époque hesbayenne.

Nous avons vu que la période campinienne ou du creusement principal des vallées de nos cours d'eau actuels a pris fin, d'une part, à cause du creusement lui-même, qui avait concentré les eaux dans des vallées profondes et adouci les pentes, et, d'autre part, à cause d'un affaissement de l'Ardenne qui réduisit encore la vitesse des eaux.

Si d'autres facteurs n'étaient venus s'introduire parmi les phénomènes constatés jusqu'ici, il est hautement probable que, de la période campinienne, nos régions auraient passé insensiblement à la période marine flandrienne, avec développement considérable de tourbes dans les parties basses comme stade intermédiaire.

Mais il n'en est pas ainsi.

C'est ici que s'introduit un facteur nouveau, non comme fait, mais comme importance ou même prépondérance : *la pluie*, concordant sans doute avec la fonte des glaciers en d'autres régions de haute altitude.

Comme nous ne pouvons invoquer dans notre pays la présence de glaciers, il suffit d'une période de pluies intenses ou bien de l'arrivée

(1) La période campinienne des géologues belges doit correspondre évidemment à une *période glaciaire*.

Digitized by Google

des masses d'eau provenant de la fonte des glaciers alpins combinées avec un affaissement du sol qui s'est fait sentir jusque dans le Condroz et l'Ardenne, pour pouvoir se rendre compte de ce qui s'est passé.

Par suite de l'affaissement signalé (qui a dû être énorme : plus de 150 mètres pour la moyenne Belgique et davantage encore pour la région de la Meuse), les Flandres, la Hesbaye et la bordure du Condroz n'ont plus formé qu'une vaste plaine ondulée, de telle sorte que ce qui constitue actuellement les hauts plateaux de la rive gauche de la Meuse n'était guère plus élevé au-dessus du niveau de la mer que le Brabant et les Flandres. Le sol de la Hollande était, au contraire, fortement soulevé.

Ajoutons à ces dispositions orographiques un régime de crues intense (1) et nous aurons toutes les conditions voulues pour le dépôt des limons qui caractérise si bien la période hesbayenne.

Ce régime de crues, accompagné sans doute de fortes pluies, a probablement commencé à se produire avant que l'affaissement maximum se soit opéré. A l'origine, un reste de pente a permis aux eaux de ruissellement des versants de déplacer et d'éparpiller à la surface du sol une partie des cailloux couronnant les sommets.

Mais bientôt, l'affaissement s'étant produit, les masses d'eaux boueuses se sont trouvées déversées dans les vallées presque sans pente, de sorte que les crues n'ont pas tardé à se produire.

Ce régime persistant, les crues n'ont fait que s'aggraver, vu les difficultés constantes d'évacuation par manque de pente, et bientôt toutes les vallées, aussi bien celles du bassin de l'Escaut que celles du bassin de la Meuse, débordèrent largement et finirent par confondre leurs eaux en une immense nappe continue, allant des rivages d'alors, situés sans doute bien loin dans la mer du Nord jusqu'au delà de la rive droite de la Meuse.

Cette immense nappe d'inondation générale, à laquelle s'ajoutaient les eaux de ruissellement des parties élevées de l'Ardenne, des Vosges, de l'Artois, chargées des particules fines (sable très fin et argile) arrachées au sol, put maintenir d'abord en suspension ces matériaux légers; mais plus loin, la faible vitesse des eaux ne permit plus à ces sédiments

(1) La période hesbayenne correspondant à l'interglaciaire est donc celle pendant laquelle s'est produite la fonte des glaciers, qui s'étaient démesurément développés sur les hautes altitudes de l'Europe centrale pendant le Campinien. Ce sont, d'après Lyell, les eaux de fusion des glaciers qui, s'écoulant par la vallée du Rhin, ont pénétré dans notre pays par la vallée de la Meuse et ont ainsi occasionné le régime de crues intenses signalé.

Digitized by Google

de rester en suspension, et le limon stratifié, constitué d'alternances de sables limoneux, de limon et de limon argileux plus ou moins plastique, partout semblable à lui-même, se déposa en même temps que les petites coquilles des mollusques vivant dans les herbes qui croissaient au bord des cours d'eau.

Cette inondation fut tellement considérable et tellement générale pour nos régions, que les hautes collines de Renaix, le mont de la Trinité, près de Tournai, et les collines des Flandres (mont Kemmel, mont Cassel, etc.) furent à peu près, si pas complètement, recouverts, et le fait est prouvé par la présence des limons stratifiés jusqu'à proximité de leurs extrêmes sommets; les mêmes limons s'étant du reste également déposés largement et d'une manière continue sur leurs versants.

On conçoit qu'un tel régime a dû rendre la presque totalité de notre territoire absolument inhabitable, tant à l'homme qu'aux Vertébrés quaternaires signalés ci-dessus comme si abondants pendant la période campinienne.

Aussi ne trouve-t-on jamais rien dans les limons, ni silex taillés ni ossements. Les seuls restes organiques rencontrés sont les petits mollusques : *Helix hispida*, *Succinea oblonga* et *Pupa muscorum*.

L'homme et les animaux ont donc dû se réfugier vers les seuls points élevés d'alors, c'est-à-dire vers les parties hautes de l'Ardenne, sur la rive droite de la Meuse, dans les provinces de Liége et de Luxembourg.

Les silex taillés que l'on commence à rencontrer dans les Hautes-Fagnes peuvent donc appartenir à l'homme de la période hesbayenne, et quant à la matière première, l'homme pouvait se la procurer à l'amas de silex crétacé situé au Hockay, non loin de Spa, amas provenant de la dissolution sur place d'un massif de craie blanche, prolongement soulevé du massif de craie couvrant la Hesbaye et le sud du Limbourg.

Dans cette immense inondation, la Meuse a pris une large part, disons même une part prépondérante.

C'est, en effet, sur ses bords et sur ceux de ses affluents que l'on rencontre les masses les plus épaisses de limons stratifiés, ceux-ci pouvant mesurer jusque 15 à 20 mètres de puissance.

On peut donc suivre pas à pas le limon stratifié, dont la couleur originaire est grise, depuis la rive droite de la Meuse jusque près de notre littoral, et il est hautement probable que, primitivement, la nappe limoneuse s'étendait bien au delà du littoral et rejoignait l'Angleterre en une partie qui se trouve actuellement sous les flots de la mer du Nord.

Digitized by Google

Quant à la disposition des vallées, que nous avons déjà pu décrire très exactement dans le chapitre relatif à la période campinienne, elle a dû, évidemment, rester exactement la même pendant la période hesbayenne, attendu que cette période n'est caractérisée par aucun creusement, par aucune érosion.

Bien au contraire, nous constatons essentiellement un régime de dépôt causé par l'abondance excessive d'eaux animées d'une très faible vitesse. Ces eaux n'ont donc pu que monter dans les vallées, atteindre les bords, puis déborder très largement sur les régions environnantes où elles ont déposé leur limon.

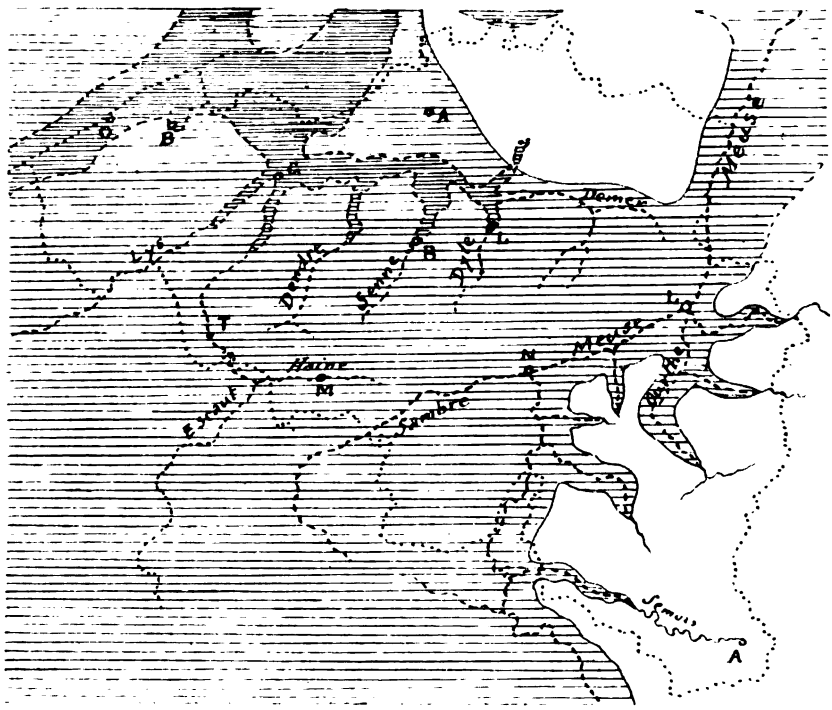


Fig. 10. — La Belgique pendant la période de grande inondation hesbayenne.

Mais le régime d'inondations dû à la fonte des glaciers prit fin. L'apport devenant moins abondant, la nappe continue d'inondation se scinda, les eaux eurent comme tendance le retrait successif vers les vallées et de larges portions de territoire, couvertes d'une épaisse couche de limon mou et encore tout imprégné d'eau, se découvrirent.

Les eaux continuant à se retirer dans les vallées, d'autres portions du sol s'asséchèrent et, peu à peu, le réseau de l'ancien régime fluvial

Digitized by Google

campinien réapparut dans ses lignes principales, partout bordé d'une épaisse garniture de limon stratifié dont la surface se desséchait.

Le régime des pluies abondantes cessa très probablement aussi avant la fin de la période hesbayenne et, pendant tout un temps, les eaux ayant repris un cours normal, mais toujours lent, dans les vallées, une période de sécheresse succéda dans la plaine à la période humide précédente.

Au moins pendant certaines parties de l'année, des vents secs venant de l'est se mirent à souffler, de sorte que la dessiccation, à la surface des vastes régions couvertes de limon, fut sensiblement accélérée.

Sous l'influence de cette dessiccation, la surface des plaines limoneuses devint pulvérulente et ces poussières de limon, soulevées par le vent d'est, furent emportées en nuées vers l'ouest. C'est ainsi que les éléments de la surface des limons desséchés de la Hesbaye furent emportés par les vents d'est et largement distribués à la surface du limon gris stratifié dans le Brabant et sur une partie de la Flandre orientale, sous forme d'un manteau plus ou moins épais de limon brun clair, pulvérulent, non stratifié.

En même temps, autour de l'estuaire de Gand et autour des collines du nord de la Flandre, une zone de tourbières s'établit et une couche de tourbe, paraissant peu épaisse, recouvrit, dans ces parages, le limon gris.

En d'autres points et principalement dans le nord de la France, M. Ladrière nous montre, au sommet des limons stratifiés de son Quaternaire moyen, un lit noirci d'humus ou de tourbe, avec Succinées, trace d'un ancien sol.

Il est toutefois probable, à cause de la présence de la nappe molle de limon et de sa stérilité temporaire, que l'homme et les animaux ne purent se répandre facilement sur les espaces peu à peu abandonnés par l'inondation, car on ne signale aucune découverte de silex taillés ni d'ossements au sommet des dépôts du Hesbayen.

Il est aussi probable que le régime d'inondation du Hesbayen ayant rapidement chassé la grande faune quaternaire de notre pays, celle-ci s'est éteinte ailleurs pendant le reste de la période et a ainsi disparu pour toujours de nos régions.

Toutefois, vers la fin du Hesbayen, les cavernes des vallées calcaires de notre pays ont pu, grâce au retrait des eaux, redevenir habitables.

Époque flandrienne.

Le phénomène qui a été la cause principale de l'existence de la période flandrienne est une reprise de l'affaissement du sol, mais

Digitized by Google

surtout localisé vers le nord-ouest de notre pays et en Hollande.

En présence de cet affaissement de régions déjà fort peu élevées au-dessus du niveau de la mer, celle-ci a successivement envahi les territoires qui s'abaissaient sous ses flots.

Bientôt nos frontières du nord furent atteintes et la mer, rencontrant les embouchures de nos vallées, y pénétra.

Le mouvement d'affaissement continuant, les eaux marines de l'estuaire de l'Escaut entrèrent dans les vallées de la Lys, de l'Escaut et dans l'énorme vallée de l'ancien Rupel. Conduite par ces vallées et celles de leurs affluents, la mer pénétra de plus en plus avant : elle poussa jusque non loin des sources de la Lys; dans la vallée de l'Escaut, passé la frontière française; elle pénétra largement dans les vallées de la Dendre, de la Senne, de la Dyle, du Démer, des deux Geetes et des deux Nèthes; toutefois, comme les régions du nord s'affaissaient sensiblement plus que les régions du sud, il se fit que, avant que la mer eût atteint ses points extrêmes dans les vallées des cours d'eau, elle envahit tellement les cours inférieurs qu'elle déborda des vallées et qu'une large bordure continentale fut recouverte par les eaux marines.

Dans les profondeurs, où des couches vaseuses alternent avec les couches sableuses, la faune marine du Flandrien, qui est à peu de chose près la faune malacologique de notre côte actuelle, se développa et c'est ainsi que nous voyons cette faune répandue dans les dépôts flandriens du littoral, dans ceux du golfe de Gand et dans la vallée de l'ancien Rupel jusque Termonde.

C'est au moment de l'envahissement marin maximum (voir ci-après fig. 11) que nos rivières avaient une bonne partie de leur cours transformée en chenaux maritimes, et les futurs emplacements d'Ypres, Gand, Audenarde, Grammont, Bruxelles, Louvain, Aerschot et Diest, constituaient de véritables ports de mer.

Pendant cet envahissement, la mer déposa sur toute la région recouverte une énorme quantité de sédiments principalement sableux, qui ont ainsi moulé une bonne partie des anciennes vallées campiniennes et hesbayennes et les ont conservées intactes, ensevelies sous l'épais manteau sableux.

C'est ainsi qu'un territoire étendu, primitivement couvert de limon stratifié hesbayen, fut englouti sous les eaux marines, ce qui nous permet de constater, en de nombreux points, le contact des sables flandriens avec petit gravier à la base, sur le limon stratifié, parfois terminé à la partie supérieure par un lit tourbeux plus ou moins raviné.

Digitized by Google

Le mouvement d'affaissement qui a permis à la mer d'envahir notre territoire, fut immédiatement suivi d'un mouvement de soulèvement surtout accentué vers la région sud du pays. Ce soulèvement fut la cause de trois faits principaux qui sont : 1° le départ de la mer flandrienne vers le nord ; 2° le rétablissement des pentes sud-nord dans la partie continentale ; 3° l'élévation à l'altitude actuelle de la région limoneuse avoisinant la Meuse (1).

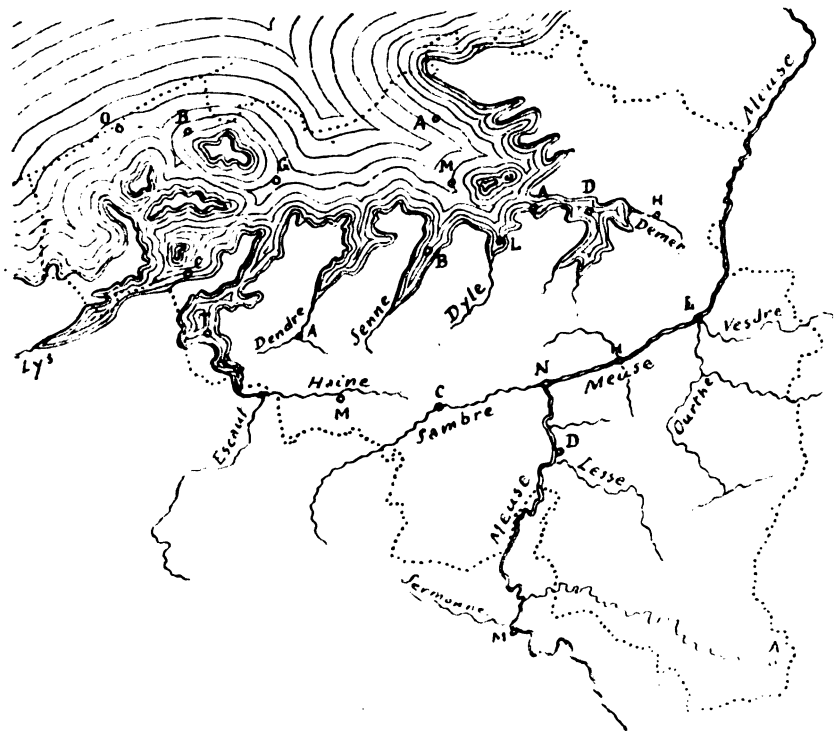


Fig. 11. — La Belgique à l'époque de l'envahissement maximum de la mer flandrienne.

(1) Nous avons vu, dans le chapitre précédent, que toute la masse limoneuse du Hesbayen a dû se déposer sur une plaine d'altitude à peu près uniforme. Le mouvement de soulèvement qui a mis fin à l'invasion de la mer flandrienne, en élevant graduellement les régions sud et est du pays, a donc élevé d'autant la garniture limoneuse qui la recouvrait. Ainsi s'explique pourquoi nous avons de nos jours les mêmes limons à des altitudes très diverses, altitudes que quelques géologues ont cru être originaires, ce qui les a engagés à distinguer des *limons des hauts niveaux* qui seraient beaucoup plus anciens que les *limons des bas niveaux*. Les faits montrent que, dans la nature, cette distinction n'existe pas, les différences actuelles d'altitude étant simplement dues au soulèvement inégal de nos régions à la fin de l'époque flandrienne.

Digitized by Google

Le rétablissement des pentes eut pour conséquence immédiate une transformation dans l'allure des cours d'eau, qui passèrent du cours lent au cours semi-torrentiel.

A cette allure, les fleuves et rivières recreusèrent en partie leurs vallées encombrées de sédiments marins flandriens et les eaux du bassin de l'Escaut charrièrent ces matériaux dans le golfe de Gand, qui se vidait, et y formèrent des barres sableuses est-ouest, encore parfaitement visibles de nos jours.

Il y eut probablement, à la même époque, recrudescence du régime intense des pluies, mais à un point sensiblement inférieur à celui qui s'était manifesté pendant le Hesbayen.

En effet, à un moment donné, les cours d'eau, enflés par le ruissellement, mais roulant assez rapidement leurs eaux vers la mer, à cause de la pente, débordèrent et déposèrent jusqu'à une certaine distance de leurs rives un limon très sableux, très stratifié, à allure ravinante, qui a reçu le nom d'*ergeron*, ce limon ayant d'une part son caractère de dépôt semi-torrentiel par sa nature sableuse et grossière, sa stratification irrégulière et, d'autre part, son caractère de crue par son étendue et par la présence, dans les parties plus spécialement limoneuses, de coquilles de Succinées, d'*Helix* et de *Pupa*, identiques à celles qui se rencontrent dans le limon stratifié du Hesbayen.

En somme, le Flandrien n'a été qu'une très médiocre période d'habitabilité pour nos régions et aucune découverte de silex taillés ni d'ossements n'a été faite, ni dans le Flandrien marin ni dans l'ergeron (1).

Seuls les bords de la Meuse et de ses principaux affluents ont été habitables pendant la période flandrienne; les cavernes ont pu être réoccupées par l'homme, qui en avait été chassé par la grande crue hesbayenne, et c'est très probablement de cette époque que datent les découvertes rapportées à l'âge du Renne. A l'époque du Flandrien ou de l'ergeron, c'est-à-dire pendant le Quaternaire supérieur, il est certain que le Mammouth et beaucoup d'autres grands Vertébrés du Campinien, chassés de nos régions par l'énorme inondation hesbayenne, n'y sont plus jamais revenus, et il sera sans doute péremptoirement prouvé, d'ici à peu de temps, que l'époque flandrienne et l'âge du Renne concordent parfaitement.

Pour ce qui concerne la période flandrienne, il nous reste à rappeler un fait sur lequel nous avons déjà attiré l'attention.

(1) L'habitabilité des plaines a été d'autant moins favorisée que la première moitié du Flandrien doit concorder avec la deuxième époque glaciaire

Digitized by Google

C'est qu'à l'époque hesbayenne, le continent faisait corps avec l'Angleterre; celle-ci constituait alors un immense prolongement vers le nord, bien plus étendu que la superficie de la Grande-Bretagne actuelle, l'Irlande étant elle-même rattachée à l'Angleterre.

Cette jonction de l'Angleterre au continent, pour ce qui concerne la partie est, était du reste elle-même assez récente, car nous avons vu la mer pliocène diestienne occupant non seulement tout l'ouest de la Belgique, mais pénétrant largement dans la Flandre française pour recouvrir le relief constitué actuellement par le cap Blanc-Nez et, en Angleterre, les collines crayeuses situées de l'autre côté du Pas-de-Calais.

C'est donc le soulèvement ayant chassé la mer diestienne de ces régions qui a rétabli le relief de la crête de l'Artois et son prolongement vers l'Angleterre.

Après ce départ de la mer diestienne, l'Angleterre fut ainsi très largement rattachée au continent et tout le littoral belge actuel faisait partie de la région intermédiaire.

Au milieu de cette large base passait donc la crête de l'Artois qui, naturellement, présentait deux versants, l'un dirigé vers la mer du Nord d'alors, l'autre vers l'Océan.

Les eaux de pluie tombant sur la crête de l'Artois se divisèrent par conséquent en deux parties, l'une coulant vers l'Océan, l'autre prenant son cours selon une direction concordant avec notre littoral actuel.

Ce cours d'eau, qui date de la fin du Diestien et qui n'a eu à subir que des variations de pente pendant les temps scaldisiens, poederliens, moséens, campiniens et hesbayens, a donc eu le temps de se creuser une large et profonde vallée.

Or, l'affaissement qui a permis à la mer flandrienne d'envahir si largement notre territoire s'est surtout fait sentir vers l'ouest, et la crête de l'Artois, fortement abaissée, a laissé pénétrer la mer très profondément dans la vallée du cours d'eau dont nous venons de parler, jusque bien près de ses sources. Le même effet ayant dû se produire du côté de l'Océan, il n'est donc resté entre le bras de mer flandrien et l'Océan qu'une faible barrière crayeuse qui a été bientôt démolie par les agents atmosphériques : ce qui a permis la jonction des deux mers.

Plus tard, le soulèvement qui a chassé la mer flandrienne n'a pas été suffisant pour réparer la brèche et pour rétablir une barrière : l'ébauche du Pas-de-Calais était accomplie et, depuis lors, l'érosion des vagues, des courants et les éboulements de falaises ont fait le reste.

Digitized by Google

Notre côte actuelle, ainsi que nous l'avons montré dans la première partie de ce travail, est donc constituée par le bord sud ou droit de la vallée du fleuve quaternaire disparu.

Enfin, pour terminer ce qui a rapport à l'époque flandrienne, rappelons ce que nous avons dit dans la première partie, au sujet de la formation de notre régime fluvial actuel.

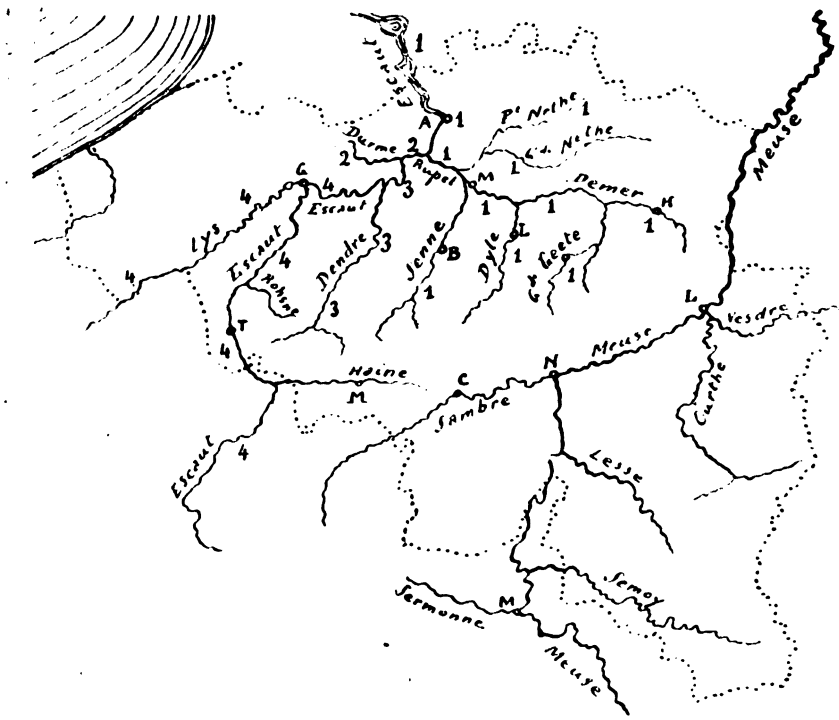


FIG. 12. — La Belgique à la fin de la période flandrienne. Établissement du régime fluvial actuel.

La partie sud du pays s'étant soulevée, ainsi que l'est et l'ouest, une sorte de cuvette s'est formée, ayant la région d'Anvers pour partie basse.

Les cours d'eau du bassin de l'Escaut qui avaient reconquis leurs vallées se trouvèrent en présence de circonstances très différentes de celles existant lors du Campinien ou de la fin du Hesbayen.

La réunion du groupe Senne, Dyle, Démer et Nèthes, en raison de la convergence vers les points bas, se fit bientôt passé Malines, le Rupel actuel fut créé; mais, constituant pour le moment le seul courant d'eau de la région proche de la mer, il se mit à la poursuite de celle-ci, qui se retirait vers le nord, et créa ainsi réellement l'ébauche du cours du bas Escaut.

Digitized by Google

Bientôt aussi la Durme, qui drainait le pays de Waes, après avoir été précédemment le prolongement de la Mandel, se jeta dans le Rupel, ébauchant la section du bas Escaut comprise entre Thielrode et Rupelmonde. De son côté, la Dendre, entraînée vers le nord, ébaucha la section Termonde-Thielrode.

Pendant ce temps, la Lys et l'Escaut, réunis à Gand, s'épanchaient dans la vaste plaine sableuse constituant l'ancien golfe de Gand ensablé; et, refoulées vers le sud par les anciennes barres émergées, puis entraînées vers l'est par le soulèvement ouest, leurs eaux, après avoir décrit de vastes méandres, rencontrèrent la Dendre à Termonde, et l'ensemble constitua ce que nous appelons aujourd'hui l'Escaut.

Notre régime fluvial actuel date donc très exactement de la fin de l'époque flandrienne.

Ère moderne.

Le temps m'a manqué jusqu'ici pour publier en détail les nombreuses observations relatives à mes études sur la plaine maritime.

C'est en grande partie sur cette plaine, qui borde notre littoral actuel, que l'attention est plus spécialement attirée lorsqu'on considère les temps modernes, à cause des modifications diverses qui s'y sont produites.

En effet, nous venons de voir que notre régime fluvial actuel datant de la fin de la période flandrienne, la géologie nous montre que plus rien de bien remarquable ne s'est passé, dans toute la région continentale, depuis le commencement des temps modernes.

Le long de notre littoral, au contraire, des recrudescences, très affaiblies il est vrai, de ce qui s'était passé pendant les temps quaternaires se sont reproduites et y ont laissé des traces suffisantes pour que nous puissions suivre pas à pas la série des phénomènes.

Mes levés géologiques de la plaine maritime étant achevés, je puis donc fournir la synthèse des observations qui m'ont conduit à la présentation de la légende acceptée par le Conseil de direction de la Carte géologique.

Voici un aperçu de l'histoire de la plaine maritime pendant l'ère moderne; à cet effet, nous diviserons cette histoire en cinq sous-périodes :

Première sous-période, marine.

Il se peut que la mer flandrienne, lors de son départ, ait évacué entièrement notre territoire, mais il se peut aussi, et c'est, croyons-nous,

Digitized by Google

l'hypothèse la plus probable, qu'elle ne l'ait pas entièrement évacué.

En effet, dans les sondages très nombreux exécutés dans la plaine maritime pour le levé de la Carte géologique, on constate la présence, en d'assez nombreux points, entre la tourbe et la surface des sédiments flandriens, d'une couche plus ou moins épaisse d'argile sableuse ou de sable argileux fin, avec coquilles marines, qui repose sans ravinement, ni gravier, ni discordance, sur les sables, toujours assez purs et grossiers, de la partie supérieure du Flandrien.

Il semble donc qu'avant que la mer flandrienne se soit retirée au delà du littoral actuel, le mouvement de soulèvement qui a mis fin à la période flandrienne se soit arrêté et ait été ainsi insuffisant pour effectuer l'évacuation complète du territoire; les rivages, plus irréguliers que le rivage actuel, se sont donc fixés pendant un certain temps, à l'aurore des temps modernes, un peu en deçà du littoral actuel et dans cette partie tranquille la vase marine s'est accumulée sur quelques mètres d'épaisseur.

Ce dépôt vaseux a reçu, dans la légende de la Carte géologique, la notation alr 1.

Deuxième sous-période, continentale, ou de la tourbe.

Après l'arrêt qui caractérise la première sous-période, le mouvement de soulèvement qui avait commencé à l'époque flandrienne a repris, mais faiblement. A l'est d'Ostende, la mer a reculé au delà de ses limites actuelles jusqu'à plusieurs kilomètres, et sur la vase marine émergée de la sous-période précédente, immense plaine sans pente, les cours d'eau ont essayé de se frayer passage. Ils se sont étendus en méandres, bordés de marais; les eaux ont comblé les moindres dépressions, et la végétation spéciale aux tourbes s'étant propagée largement dans les bas-fonds, en même temps qu'une forêt de nos essences indigènes croissait dans les parties les moins humides, la *période* dite *de la tourbe* commença.

Bientôt la végétation tourbière pénétra dans les vallées des rivières au cours lent de la Flandre et la formation de la tourbe se propagea ainsi de proche en proche jusqu'aux sources, autour desquelles, par suite du manque d'écoulement par défaut de pente, les végétaux de la tourbe s'étendirent très largement.

Au bout d'un temps plus ou moins long que nous apprécierons ci-après, un nouveau mouvement d'affaissement du sol se produisit et, au large, à plusieurs kilomètres de nos côtes, la mer envahit lentement la plaine tourbeuse.

Digitized by Google

Par suite de cet affaissement, les tourbes de la partie continentale continuèrent à se superposer, le poids les fit se tasser, puis de nouvelles tourbes vinrent recouvrir les précédentes, au point que nous en rencontrons, de nos jours, des amas de 5 mètres d'épaisseur qui, primitivement, ont pu atteindre 6 à 7 mètres.

Bientôt le mouvement d'affaissement s'accentua; à l'est, la mer parvint à ses limites actuelles, puis les dépassa notablement, au point d'atteindre Bruges, tandis qu'à l'ouest, grâce aux dentelures préexistantes du littoral, la mer envahissait largement le golfe de Loo.

Ici nous ne sommes plus dans les temps préhistoriques : nous sommes en pleine histoire.

En effet, des documents historiques nombreux et des plus précieux gisent dans le sol et ont été signalés déjà par les archéologues depuis près d'un siècle.

Ces documents consistent en instruments en silex et en os, en poteries, en monnaies et médailles, en objets métalliques d'usage courant, d'art ou de culte.

Depuis que l'on exploite la tourbe dans la plaine maritime, tant française que belge, d'innombrables antiquités ont été recueillies dans les tourbières, sans compter un bien plus grand nombre qui ont été perdues à jamais.

Des observations faites, il résulte que, à une certaine profondeur dans la tourbe, il existe un niveau où l'on rencontre parfois des silex taillés et principalement des haches polies néolithiques, avec pointes de flèches à ailerons, idoles en bois sculpté, pirogues creusées dans des troncs d'arbre, indiquant nettement une occupation du pays par des peuplades néolithiques pendant l'époque de la formation de la tourbe. Plus haut, dans les derniers 30 centimètres de la tourbe, ce sont de très nombreux objets gaulois et gallo-romains plus ou moins mélangés, consistant en poteries grossières, non faites au tour, mélangées à des poteries faites au tour et à des poteries romaines authentiques, ces dernières renfermant parfois des trésors en monnaies ou médailles romaines d'or, d'argent ou de bronze, pouvant être aisément datées. Ces médailles sont d'autant plus abondantes qu'on s'éloigne de Jules César, conquérant des Gaules, et elles cessent brusquement peu après Posthume, c'est-à-dire vers la fin du IIIe siècle.

Ainsi qu'on le voit, la partie la plus supérieure de la tourbe constitue un repère des plus précieux pour la chronologie; elle nous montre une période d'habitabilité, non pas seulement pour la partie continentale actuelle de la plaine maritime, mais pour une région assez

Digitized by Google

étendue située actuellement au large, sous les flots, car la mer, ravinant la tourbe qui se prolonge sous les eaux, rejette à chaque tempête des fragments de poteries gauloises et romaines.

On peut dire que le dernier mètre de la tourbe — et on sait qu'elle peut avoir 5 mètres et plus d'épaisseur — représente la période comprise entre l'âge de la pierre polie et le commencement du IVe siècle de notre ère. Si l'on admet un minimum de 1,500 ans pour ce laps de temps et que l'on compte une épaisseur moyenne de 4 mètres pour la tourbe, on en arrive à pouvoir admettre que la période de la tourbe a pu durer environ 6,000 ans et plus.

Troisième sous-période, ou de grande inondation marine.

Nous venons de voir que la tourbe a cessé de se former à partir du commencement du IVe siècle de notre ère.

Nous avons déjà dit ci-dessus que le phénomène qui a mis fin à la formation de la tourbe a été un faible affaissement du sol, qui a ramené la mer, non pas jusqu'à notre littoral actuel, mais jusqu'à l'extrême limite de la plaine maritime, c'est-à-dire suivant une ligne passant au sud de Furnes, Loo, Dixmude, Oudenbourg, Ghistelles, au nord de Jabbeke, Bruges, puis longeant toute la limite nord du pays, faisant large bordure autour de l'Escaut, formant golfe à Anvers, puis remontant vers la Hollande.

Cette invasion marine qui, pour nos régions, commence avec le IVe siècle de notre ère, a été aggravée par de violentes tempêtes dont l'histoire a conservé les dates.

Des dunes, situées vers le large par rapport à nos dunes actuelles, et qui arrêtaient l'invasion marine malgré l'affaissement du sol, furent sans doute détruites par les premières tempêtes, et bientôt toute la plaine maritime fut sous l'eau.

Du coup, toute la population gallo-romaine de la région fut anéantie ou mise en fuite, et sur la surface de la tourbe, où tant d'intéressantes peuplades avaient laissé leurs traces, les eaux marines se répandirent largement.

Non seulement les eaux s'étendirent, mais elles amenèrent leurs sédiments et leur faune, et celle-ci, trouvant dans la région submergée des conditions de vie particulièrement favorables, se développa prodigieusement.

Dans les alternances de vase ou d'argile sableuse et de sable qui se

Digitized by Google

sont déposées à cette époque, directement sur la tourbe (1), nous rencontrons, en effet, une énorme quantité de bancs coquilliers où de gros *Cardium edule* bivalves dominent et où nous trouvons également *Mytilus, Ostrea,* ainsi que de très abondantes *Scrobicularia plana.* Cette faune marine est remarquablement représentée jusque contre la ville de Dixmude et, bien plus au sud, dans le golfe de Loo.

Toutefois, à cause de l'envasement actif de la région submergée, la mer devait tendre à perdre peu à peu du terrain et, probablement vers le VIIIe siècle, des populations d'origine germanique essayèrent de s'installer dans les parties nouvellement asséchées. Il dut alors s'établir des campements, sortes de villages provisoires dont les habitants, les uns, plus prudents, s'établirent à peu de distance des limites extrêmes de la mer, mais dont les autres, plus entreprenants, s'installèrent sur des bandes de terre s'avançant sensiblement au delà de notre rivage actuel.

Ce fait nous est prouvé par les très nombreuses découvertes que j'ai faites, tout le long de la plaine maritime, tant sur l'estran que derrière les dunes, d'aires habitées et facilement reconnaissables par une ligne noire, charbonneuse, qui se montre dans la partie supérieure des alternances de sable et d'argile constituant le dépôt marin surmontant la tourbe.

Dans ces lits charbonneux, je rencontre une énorme quantité de poteries, auxquelles s'ajoutent du charbon de bois et de nombreux ossements d'animaux (Cheval, Bœuf, Mouton, Sanglier, etc.).

Ces campements furent sans doute à plusieurs reprises envahis par des retours offensifs de la mer dus à des tempêtes, car nous les voyons recouverts des mêmes dépôts marins qu'en dessous.

Mais l'histoire nous apprend qu'à partir de l'an 840 environ, les tempêtes cessèrent et que le calme rentra dans le pays.

La troisième sous-période des grandes inondations marines a donc duré de l'an 300 à l'an 840 environ, soit 540 ans à peu près.

Pendant cette période, une moyenne de 2 mètres de sédiments marins, avec nombreux bancs coquilliers, a pu se déposer au-dessus de la tourbe.

Quatrième sous-période, lagunaire, ou de l'argile inférieure des polders.

Vers 840, les tempêtes ayant cessé et l'envasement ayant continué à se produire, les hauts-fonds s'asséchèrent rapidement et les eaux

(1) Dépôts notés **alr 2** sur la Carte géologique de la Belgique publiée à l'échelle du $^1/_{40000}$.

Digitized by Google

marines furent réparties dans une série de larges lagunes, entretenues par les apports journaliers de la marée qui n'y parvenait que par des chenaux plus ou moins étroits.

Les eaux de ces lagunes n'eurent dès lors plus de mouvement appréciable; aussi les particules argileuses qu'elles tenaient en suspension se déposèrent partout sur le fond, sous forme d'un manteau d'argile grise, pure, plastique, qui a reçu le nom d'*argile des polders* (1).

Bientôt les ouvertures des lagunes intérieures se bouchèrent, soit par envasement, soit par formation de dunes, et ces lagunes, n'étant plus alimentées par la mer, se desséchèrent et la terre ferme réapparut non seulement sur presque toute la région recouverte précédemment par la mer, mais encore sensiblement au large du rivage actuel, surtout du côté de la Hollande, là où se trouve actuellement l'embouchure de l'Escaut, embouchure relativement très récente, ainsi que cela a été parfaitement démontré.

Une population agricole considérable suivit les eaux dans leur retraite et s'installa sur le sol fertile reconquis. C'est vers cette époque que furent construites les premières digues; toutefois, un grand nombre de villages furent simplement fondés sur de faibles élévations de terrain, surhaussées parfois artificiellement.

Cette période de tranquillité, dont la trace géologique est le dépôt de l'*argile inférieure des polders*, ne dura malheureusement pas longtemps : de l'an 840 à l'an 1000 environ, soit 160 ans.

Cinquième sous-période, marine, ou de grandes inondations.

Dès le début du XIe siècle, un mouvement d'affaissement ayant principalement la Hollande comme centre commença à se produire, en même temps qu'une nouvelle et terrible période de tempêtes se déchaînait.

L'histoire nous a conservé, année par année, les nombreuses dates des grandes et désastreuses tempêtes qui affligèrent nos régions littorales; mais pour ce qui concerne la partie belge, ces effets furent très sensiblement moins dévastateurs que dans les Pays-Bas, vu que l'affaissement maximum s'est produit dans ce pays.

L'influence de cet affaissement ne se fit guère sentir qu'à partir de Mariakerke, à l'ouest d'Ostende; mais à mesure que l'on se dirige vers le nord-est, les effets s'en font de plus en plus désastreux et se répar-

(1) **alp 1** de la Carte géologique.

Digitized by Google

tissent sur une période de plus en plus longue et sur des territoires de plus en plus étendus; la trace des plus grands désastres existe du reste encore aujourd'hui.

Donc, à partir de Mariakerke, en allant vers l'est, nous constatons des surfaces de plus en plus vastes recouvertes par la mer.

Chez nous, les phénomènes d'inondation furent portés, sans doute, dès l'abord à leur maximum.

Les faibles dunes qui avaient pu se reformer en 160 ans, les plus faibles digues élevées par les habitants, ne servirent qu'à rendre les effets du phénomène d'envahissement plus terribles et plus brusques. Ces défenses purent arrêter, durant les premières années, l'assaut des tempêtes, mais pendant ce temps le sol s'affaissait et, les obstacles renversés, la mer fit une brusque irruption qui porta ses flots jusqu'aux portes de Bruges.

Le sable meuble qui s'était amassé en dunes fut entraîné par les eaux vers l'intérieur et une grande partie de la surface précédente, recouverte soit par les alternances de sable et d'argile de l'an 300 à l'an 840, soit par la première argile des polders de l'an 840 à l'an 1000, fut recouverte à son tour d'un manteau de sable jaune grossier, dont la durée de dépôt fut toutefois suffisante pour qu'une faune marine identique à la faune actuelle pût s'y développer et y vivre (1).

Dans nos régions, où le mouvement d'affaissement devint bientôt insensible, le dépôt de 1 à 2 mètres de sable suffit pour surélever le niveau du sol de manière qu'il pût échapper aux marées simples entre les grandes tempêtes. C'est ce dont profitèrent aussitôt avec vigueur les habitants, qui se mirent sérieusement à élever partout des digues de plus en plus résistantes.

Pour ce qui concerne la région belge, la période désastreuse ne dura guère plus de deux siècles, et encore la situation dut être déjà améliorée au bout d'une centaine d'années; mais pour ce qui concerne la Hollande, où l'affaissement continuait d'une manière sensible, les désastres se renouvelèrent pendant tout le moyen âge, c'est-à-dire jusque vers 1570, époque à laquelle une accalmie se produisit.

C'est pendant cette suite interminable de tempêtes et d'envahissements marins que se produisit, en 1170, la catastrophe principale : la formation du Zuyderzee et de la série d'îles du nord de la Hollande.

C'est aussi pendant cette époque calamiteuse que les îles de la Zélande se fractionnèrent à l'infini : le moindre cours d'eau, le

(1) alq de la Carte géologique.

Digitized by Google

moindre canal, envahi par la mer, était élargi outre mesure sous la poussée des courants de marées, de sorte que, la tourmente finie, on trouvait un bras de mer entre deux villages dont les habitants pouvaient communiquer à pied sec peu de temps auparavant.

C'est pendant la même époque que l'embouchure actuelle de l'Escaut s'est formée, alors qu'au XIe siècle il n'existait à sa place qu'un filet d'eau sans importance; c'est alors que l'île de Schooneveld disparut ainsi que la terre de Wulpen, qui s'étendait au nord-est de Heyst, et c'est grâce à cette destruction que le Zwin déboucha directement dans la mer et contribua ainsi à la splendeur de Bruges.

Aussitôt que les sables déposés par les incursions marines furent asséchés, des populations vinrent se fixer à leur surface et y installèrent de nouveau des campements fort semblables à ceux établis par leurs prédécesseurs quelques siècles auparavant.

C'est ainsi que, grâce à l'élargissement d'une route, j'ai découvert, non loin du hameau du Coq (commune de Vlisseghem), la trace d'un de ces campements, qui a été fouillé à ma demande par la Société d'archéologie de Bruxelles.

On y a rencontré, sur un lit d'argile apporté artificiellement, et qui était criblé d'écailles de moules, — restes des repas des premiers occupants, — un lit épais charbonneux, renfermant de très nombreux ossements d'animaux ayant servi de nourriture, du charbon de bois et de nombreux débris de poteries, malheureusement très fragmentaires.

MM. le baron A. de Loë et Poils ont déterminé ce campement comme datant du haut moyen âge.

On peut donc dire que, pour la partie belge, une ère de tranquillité relative commença vers l'an 1200, époque à partir de laquelle les travaux d'endiguement ayant été partout vigoureusement poussés, la contrée entière n'eut plus à souffrir des furieuses tempêtes enregistrées par l'histoire et qui désolèrent la Hollande, tout en jetant parfois de vives alarmes dans nos régions, par la rupture locale de quelques digues occasionnant des irruptions marines généralement de peu d'importance.

Sixième sous-période, ou de l'argile supérieure des polders.

Depuis 1570, le sol de notre pays — comme celui de la Hollande — semble être resté stationnaire au point où l'a amené l'affaissement du sol qui s'est produit de l'an 1000 à l'an 1570.

Je suis maintenant d'avis que, depuis cette dernière date, aucun

Digitized by Google

mouvement sensible du sol ne s'est produit et que les choses sont restées en l'état où elles étaient en 1570.

En effet, depuis cette époque, presque toute la plaine maritime se trouve située à un niveau inférieur à celui de la marée haute, le Zuyderzee a conservé son intégrité, et les îles du nord de la Hollande n'ont pas rejoint à nouveau le continent ou n'ont pas disparu.

Je crois donc, en ce moment, à l'immobilité à peu près complète, mais toujours avec tendance à l'affaissement.

La plaine maritime actuelle n'est protégée contre les envahissements de la mer que pour les mêmes raisons existant depuis au moins le XIVe siècle, c'est-à-dire grâce aux dunes et aux digues, qui n'ont cessé d'être consolidées.

Au point de vue de l'ordre naturel des choses, nul dépôt nouveau n'aurait dû ni pu s'effectuer au-dessus des couches déjà déposées.

Cependant, toujours dans la région nord-est de notre littoral, dans la direction de l'affaissement maximum, un dépôt nouveau, l'*argile supérieure des polders* (1), est venu se superposer aux sables du moyen âge ou à l'argile inférieure des polders.

A la suite de mes études, j'ai pu me convaincre que ce ne sont pas les seules forces naturelles qui sont la cause de ce dépôt, mais au contraire qu'il est presque uniquement dû à l'action de l'homme.

En effet, depuis 1570, notre région littorale n'a cessé d'être ravagée par la guerre. A chaque instant, ces plaines ont servi de champ de bataille et les places fortes, pour se couvrir, ont eu largement recours à l'inondation artificielle par percement de dunes ou de digues.

Grâce à la situation du pays, au-dessous de la marée haute, d'immenses espaces ont pu être ainsi artificiellement inondés.

D'autre part, à cause de l'affluence des eaux douces dans la vaste plaine des Flandres et de l'impossibilité de les évacuer par les cours d'eau naturels, les habitants ont dû avoir recours à un système très compliqué de fossés drainants (watergangs), qui recueillent les eaux superficielles et les conduisent à la mer par un jeu d'écluses.

Or, dans ces watergangs, l'eau est souvent stagnante, et les eaux de ruissellement qui s'y écoulent se dépouillent aussitôt des éléments tenus en suspension qui vont envaser le fond, tandis qu'une végétation extrêmement abondante et vivace envahit les eaux.

Il faut donc curer et entretenir soigneusement ces watergangs.

Or, pendant la longue période de guerres entre les Provinces-Unies

(1) **alp 2** de la Carte géologique.

Digitized by Google

et les Espagnols, et plus tard lors d'autres luttes, l'entretien des watergangs a dû être négligé ou abandonné, de sorte que pendant les hivers, de vastes inondations se sont produites, dont les eaux ont été se mélanger aux eaux marines introduites artificiellement autour des places fortes, si bien que le mélange des eaux marines et douces, sans vitesse appréciable, a occasionné le dépôt de toutes les matières en suspension, permettant alternativement la vie des mollusques marins (*Cardium*), ou celle des mollusques d'eau douce (Lymnées, Planorbes, etc.), ou enfin la vie de mollusques d'eau saumâtre, tels que les Hydrobies.

L'*argile supérieure des polders* s'est donc principalement déposée de 1570 à 1700; mais, lorsque les circonstances favorables se présentent, elle se dépose encore de nos jours, sous nos yeux.

Ces phénomènes actuels étant décrits, la tâche que nous avions entreprise se trouve ainsi terminée.

Digitized by Google

NOTE

SUR LES

ÉCHINIDES DE LA CRAIE DE CIPLY

PAR

J. LAMBERT

(Présentée à la séance du 25 mai 1897)

—

Planches II à V

—

Il y a vingt-deux ans, mon regretté et savant ami Cotteau, dans une *Note sur les Échinides crétacés du Hainaut* (Bull. Soc. géol. de France, 1875, 3e sér., t. II, p. 368), a énuméré, décrit et parfois figuré quarante-huit espèces d'Oursins des diverses zones de la craie, depuis le tourtia (Cénomanien) jusqu'au tufeau à *Hemipneustes*. Je ne pense pas que les découvertes récentes soient assez considérables pour qu'il y ait lieu de reviser aujourd'hui dans son ensemble un travail aussi complet, entrepris avec des matériaux aussi considérables que ceux des collections Cornet, Houzeau et Dewalque. Il m'a cependant paru intéressant de dresser à nouveau la liste des Échinides de la craie phosphatée de Ciply, qui ne fournissait, en 1874, qu'un très petit nombre d'Oursins, mais qui a été plus activement exploitée depuis. J'ai cru aussi pouvoir compléter mon travail par l'examen de quelques espèces des horizons voisins : la craie de Spiennes et le poudingue de la Malogne.

Je n'ai pu entreprendre la rédaction de ce mémoire que grâce aux bienveillantes communications de M. Rutot, qui m'a permis d'étudier les précieuses collections du Musée de Bruxelles, et aussi aux envois reçus de mes amis, MM. Peron et de Grossouvre. Qu'il me soit permis de leur adresser à tous l'expression de mes bien sincères remercie-

Digitized by Google

ments. Il m'a été malheureusement impossible de mettre à profit les nombreux matériaux de la collection Cotteau, non encore classée à l'École des mines.

Cidaris serrata Desor, 1858.

(*Voir pl. II, fig. 9.*)

Un seul fragment de radiole de ce *Cidaris* m'a été communiqué comme recueilli dans la craie phosphatée de Ciply, où l'espèce paraît rare. Comparé aux figures de la planche 1074 de la *Paléontologie française* et à des échantillons de la craie à *Magas pumilus* de Meudon ou de Montereau, ce radiole me paraît en reproduire assez exactement les caractères.

Explication des figures. — Planche II, figure 9; fragment de radiole du *C. serrata*, du Musée de Bruxelles, grossi au double.

Cidaris Hardouini Desor, 1855.

Les seuls radioles de cette espèce qui m'aient été communiqués proviennent du poudingue de la Malogne. Cotteau les a cependant très positivement cités dans la craie grise de Ciply, où ils sont sans doute plus rares.

Ces radioles ont des rapports de forme avec certaines variétés de ceux du *Tylocidaris clavigera* König (*s. Cidaris*); ils s'en distinguent très nettement par leurs ornements composés de rangées de granules plus grossiers et moins épineux.

Cidaris *spec.*

(*Voir pl. II, fig. 8.*)

M. Peron avait rapporté au *C. distincta* Sorignet un fragment de radiole recueilli par lui à Ciply dans le poudingue de la Malogne; mais la taille plus grande de ce radiole, sa forme prismatique, ses granules spiniformes espacés sur de faibles crêtes longitudinales le rapprocheraient plutôt des radioles du *C. perornata* Forbes. Il s'agit donc ici d'une forme particulière; toutefois, le seul fragment connu est trop incomplet pour qu'il y ait lieu d'établir sur lui encore une espèce.

Digitized by Google

Explication des figures. — Planche II, figure 8; fragment de radiole de *Cidaris* de Ciply (coll. Peron), grossi au double.

Cidaris montainvillensis Lambert, 1897.

(*Voir pl. II, fig. 3, 4 et 5.*)

Cotteau ne citait en 1875 que les seuls *Cidaris Faujasi* et *C. Hardouini* dans la craie phosphatée de Ciply; il en existe cependant d'autres, représentés surtout par leurs radioles, et jusqu'ici confusément rapportés au *C. Forchhammeri* Desor. On ne saurait donc utilement étudier ces petits radioles sans se faire d'abord une idée exacte de ce que peut être cette dernière espèce. Il me paraît malheureusement exister au sujet des *Cidaris* du calcaire pisolithique une certaine confusion. Après avoir rapporté tous ceux des environs de Paris au *C. Forchhammeri,* Cotteau les en a séparés sous le nom de *C. Tombecki* Desor. Je ne crois ce rapprochement exact qu'en partie.

Il est certain que le type du *C. Forchhammeri* est l'espèce de Faxoë figurée par Hisinger (*Leth. suec.*, tab. 20, fig. 2) et que Cotteau affirme appartenir au genre *Temnocidaris* (*Echin. calc. gross. de Mons,* p. 4). Mais Desor, en 1855, a attribué à ce type un radiole recueilli précisément à Faxoë, figuré au *Synopsis*, planche V, figure 18. Or il se trouve que les gros radioles du calcaire pisolithique de Vigny, figurés dans la *Paléontologie française*, notamment planche 1078, figure 13, sont identiques à celui de Faxoë. Comme ces radioles n'ont pas les caractères de ceux des *Temnocidaris,* il en faut simplement conclure qu'ils appartiennent tous à une espèce existant à la fois dans le calcaire pisolithique et dans la craie de Faxoë, mais que cette espèce n'est pas le vrai *Temnocidaris Forchhammeri.*

Quant au *C. Tombecki* Desor (*Synopsis*, p. 16, 1855), c'est une très petite espèce des couches les plus élevées du calcaire de Montainville, et je ne l'ai jamais recueilli à la base avec la forme commune; il a été figuré dans la *Paléontologie française* (Crét., t. VII, pl. 1079, fig. 2) et se distingue par sa petite taille, ses tubercules peu nombreux, de quatre à cinq par série, avec scrobicules faiblement déprimés et cônes très saillants. Les rangées de granules ambulacraires varient et, à taille égale, on en compte de deux à quatre. Les radioles qui pourraient être correctement rapportés à ce petit *Cidaris* ne me sont pas connus; ceux que j'ai rencontrés dans la même couche appartenaient au *Goniopygus minor*.

Digitized by Google

Reste la forme commune de Montainville, représentée par des fragments de test de forte taille (*Pal. franç.*, Crét., pl. 1078, fig. 1, 2, 3, et pl. 1079, fig. 1) et par de nombreux radioles dont aucun ne saurait être attribué au *C. Tombecki*. (*Ibid.*, pl. 1078, fig. 14, 15, 16, 17.) Quant aux grands radioles (fig. 9, 10, 11 et 12), il ne me paraît guère possible de ne pas les rapporter à la même espèce, caractérisée par sa grande taille et ses ambulacres cependant très étroits, avec deux rangées de granules seulement, la grosseur de ses granules scrobiculaires et l'existence de zones miliaires distinctes. Ne pouvant confondre ce *Cidaris* ni avec le *Temnocidaris Forchhammeri* ni avec le *Cidaris Tombecki*, je lui donne le nom de *C. montainvillensis*.

Cette espèce, rencontrée aux environs de Paris, dans le calcaire pisolithique de Meudon, Montainville et Vigny, se retrouve dans le calcaire grossier de Mons et dans la craie supérieure de Faxoë.

Ces préliminaires posés, nous pouvons aborder l'examen des petits radioles de la craie phosphatée de Ciply, jadis confusément rapportés au *C. Forchhammeri*. Ils appartiennent à trois formes : les uns, à ornements réguliers, ont leur tige couverte de fins granules, arrondis, serrés, disposés en lignes à la fois longitudinales et obliques, de sorte que chaque granule d'une ligne est séparé de celui qui le suit par l'intervalle qui s'étend transversalement entre les granules des deux lignes voisines. Les autres ont dans leur ornementation le même principe de disposition alternante, mais leurs granules sont remplacés par des saillies spiniformes, quelquefois très écartées et laissant alors entre elles un espace lisse plus ou moins considérable. (Voir pl. II, fig. 5.) D'autres radioles, enfin, participent un peu de l'ornementation des précédents : leur tige est couverte, d'un côté, de granules arrondis en séries linéaires et, de l'autre, de saillies spiniformes assez serrées, plus ou moins alignées (pl. II, fig. 4.) Il est bien difficile d'établir une séparation entre ces diverses formes, dont la seconde s'allie par transitions si insensibles à la première. En tous cas, deux au moins, la première et la dernière, se retrouvent parmi les petits radioles du calcaire pisolithique. Le fait essentiel à constater ici est donc l'identité de partie des radioles recueillis d'une part dans la craie phosphatée de Ciply et d'autre part dans le calcaire à *Nautilus danicus* de Montainville.

Explication des figures. — Planche II, figure 3, petit radiole du *C. montainvillensis* de Montainville (ma collection); figure 4, petit radiole semblable de la craie phosphatée de Ciply (Musée de Bruxelles); figure 5, radiole à granules spiniformes espacés de la craie de Ciply (coll. Peron). Ces trois figures sont grossies au double.

Digitized by Google

Cidaris Tombecki Desor, 1855.

(*Voir pl. II, fig. 6 et 7.*)

Parmi les Échinides du Musée de Bruxelles que M. Rutot a bien voulu me communiquer se trouve un segment de *Cidaris* de la base du Montien (sans autre indication). C'est une petite espèce de 13 millimètres de diamètre sur 9 de hauteur, à ambulacres flexueux, portant quatre rangées de granules; tubercules proportionnellement bien développés, à scrobicules très larges, entourés d'une rangée de granules scrobiculaires allongés; rares granules miliaires épars, seulement au bord de la suture médiane, qui est déprimée, avec fossettes angulaires apparentes, profondes.

Rapports et différences. — Ce fragment de test est certainement différent de celui figuré sous le même nom par Cotteau dans sa *Description des Échinides du Calcaire grossier de Mons* (pl. I, fig. 1, 2), mais, comme je viens de l'expliquer, ce dernier doit être aujourd'hui rapporté à mon *C. montainvillensis*, tandis que le petit segment dont je m'occupe est de tous points identique au type du *C. Tombecki*. L'espèce diffère du *C. montainvillensis* par sa petite taille, ses tubercules interambulacraires moins nombreux, avec scrobicules plus larges et zones miliaires moins développées, ses fossettes suturales angulaires plus profondes et, ainsi que Cotteau l'avait déjà remarqué, par la présence de quatre rangées de granules dans l'ambulacre.

Explication des figures. — Planche II, figure 6, segment de *C. Tombecki* de la base du Montien (Musée de Bruxelles); figure 7, une plaque interambulacraire et les ambulacraires adjacentes, grossies.

Cidaris Faujasi Desor, 1855, et **Temnocidaris danica** Desor, 1855.

Les radioles rapportés au *C. Faujasi* paraissent assez abondants dans la craie phosphatée de Ciply, où ils ont déjà été signalés par Cotteau. Cette espèce a été créée par Desor pour deux radioles figurés en 1799 par Faujas (*Hist. nat. mont. Saint-Pierre de Maestricht*, pl. XXX, fig. 13, 14) et représentant : 1° une forme d'assez grande taille, à tige garnie de séries régulières de granules (fig. 13); 2° une variété où les granules sont remplacés par de petites côtes (fig. 14). Le nouveau type figuré par Desor (*Synopsis*, pl. V, fig. 13) est en quelque sorte une forme moyenne, remarquable par ses fins granules en séries longitudinales

Digitized by Google

nombreuses et régulières. Lorsqu'il établissait son *C. Faujasi*, Desor faisait déjà remarquer que ce radiole pourrait bien appartenir, soit au *C. regalis* Goldfuss (grande espèce à ambulacres droits, plaques interradiales très allongées et rentrant dans la section *Pleurocidaris* Pomel), soit au *C. danica* (qui est un *Temnocidaris* également à plaques très allongées).

Presque tous les radioles de la craie phosphatée de Ciply appartiennent à la forme du *Synopsis* figurée dans la *Paléontologie française* (Crét., t. VII, pl. 1077, fig. 8); trois fragments appartiennent seuls à la variété costulée de la figure 10. Ces radioles diffèrent nettement de ceux du *C. sceptrifera* Mantell par leur forme régulièrement cylindrique et par leurs granules arrondis plutôt que spiniformes. Ceux du *Temnocidaris Baylei* Cotteau leur ressemblent davantage et ne s'en distinguent que par les granules plus saillants, plus acérés, qui couvrent la tige.

La plus grande partie des plaques associées à ces radioles se rapportent au *Temnocidaris danica;* il est donc très probable que les radioles attribués au *C. Faujasi* sont ceux du *T. danica;* leur ressemblance avec ceux du *T. Baylei* vient encore fortifier cette présomption; enfin, le fait que les plaques de *Temnocidaris*, recueillies dans le Cotentin avec les radioles du *C. Faujasi*, appartiennent précisément au *T. danica*, fournit un argument de plus pour la réunion des deux espèces.

J'incline donc à penser que les radioles auxquels Desor a donné le nom de *C. Faujasi* doivent être simplement réunis au test du *Temnocidaris danica*.

Quant au fragment de test de Fresville figuré dans la *Paléontologie française* (pl. 1077, fig. 1, 7), il pourrait bien n'être qu'un jeune dont les pseudo-fossettes annulaires ne se seraient pas encore développées.

On trouve à Ciply, dans les mêmes couches, quelques autres plaques isolées de grande taille, mesurant jusqu'à 18 millimètres sur 14, relativement hautes, remarquables par leur fine granulation miliaire traversée d'impressions linéaires. Ces plaques, très différentes de celles du *Temnocidaris danica*, appartiennent très probablement à une espèce nouvelle de vrai *Cidaris*.

Macrodiadema Ciplyensis Lambert, 1897.

(*Voir pl. II, fig. 10.*)

Je ne connais qu'un seul radiole incomplet de cette espèce : il a été recueilli par M. Peron, dans la craie sénonienne de Ciply; ses carac-

Digitized by Google

tères sont si particuliers, l'éloignent tellement de tous les radioles connus, qu'il n'y a aucun inconvénient à le faire connaître sous un nom nouveau.

Fragment de radiole de 14 millimètres de longueur, à bouton très développé (diamètre 6 mill.) et tige cylindrique, allongée (diamètre 2 mill.). Sa facette articulaire lisse est munie d'une dépression médiane qui dénote la présence d'un ligament central et indique, par conséquent, que le radiole devait s'insérer sur un tubercule perforé. Le bouton, malgré son insolite largeur, est peu élevé, et l'anneau, bien saillant, est très finement strié. Il n'y a pas de collerette, mais, à partir de l'anneau, la tige se rétrécit brusquement et se prolonge en un étroit cylindre, orné de petites côtes granuleuses, espacées, très atténuées, visibles seulement sous un fort grossissement.

Rapports et différences. — Ce radiole s'éloigne absolument de tous les radioles de *Cidaris*, mais il est plus facile de dire à quel genre il ne peut être rapporté que de l'attribuer correctement à un Échinide déterminé. Ce n'est pas un Diadémien, car presque tous les genres connus de ce groupe ont leurs radioles verticillés, et si ceux du genre jurassique *Heterocidaris* ne le sont pas, ils sont déjà du moins entièrement recouverts de petites écailles imbriquées. On ne saurait affirmer que le radiole de Ciply ait appartenu à un *Echinothuridæ*, car ceux connus d'*Echinothuria* et de *Phormosoma* ont des caractères différents. On peut cependant le comparer à certains radioles, comme ceux du *Diadema caliculus* Quenstedt, du Jura blanc d'Allemagne (*Die Echiniden*, pl. LXXII, fig. 57 à 60), ou comme ceux non verticillés du Sénonien d'Évreux, confondus par Caffin avec son *Diadema ebroicense* (*Échin. env. d'Évreux*, pl. XI, fig. 24, 29). Mais tous ces radioles ont leur bouton proportionnellement bien moins large, plus haut, avec une facette articulaire différente.

La forme insolite, macrocéphale du radiole de Ciply, n'avait encore été signalée que chez de très petites espèces, plutôt considérées en conséquence comme des radioles péribuccaux de quelque *Cidaris* que comptées au nombre des véritables espèces. Tels étaient les *Radioli macrocephali* de Quenstedt, du Jura blanc d'Allemagne (*op. cit.*, pl. 72, fig. 30, 35), le petit radiole figuré par Geinitz à la planche XV, figure 26 du *Das Elbthalgebirge in Sachsen* et provenant du *Pläner de Plauen*, enfin le *Cidaris buccinifera* Caffin, du Sénonien moyen de l'Eure (*op. cit.*, pl. III, fig. 16, 18). Ces derniers ne sont bien certainement pas des radioles de *Cidaris*, et ils appartiennent au même type générique que celui de Ciply, bien qu'ils en diffèrent par leur taille exiguë, leur sur-

Digitized by Google

face lisse, leur bouton plus déprimé et, chez *C. buccinifera*, presque réduit à la facette articulaire. Ces radioles macrocéphales se rapportaient certainement à une forme particulière d'Échinide, probablement à quelque genre d'*Echinothuridæ* dont le test mou avait bien peu de chance d'échapper à la fossilisation et ne sera peut-être jamais retrouvé. Je propose cependant de les désigner, au moins provisoirement, sous le nom de *Macrodiadema*.

Explication des figures. — Planche II, figure 10, radiole du *Macrodiadema ciplyensis* grossi au double (coll. Péron).

Salenidia Bonissenti Cotteau (*sub. Salenia*), 1866.

(*Voir pl. II, fig. 13, 14, 15 et 16.*)

Synonymie :

Salenia Bonissenti Cotteau : *Échin. nouv. ou peu connus*, 1re sér., p. 110, pl. XV, fig. 4, 7, 1866.
— — Cotteau : *Échin crét. du Hainaut*, p. 643, 1875.
— *Anthophora* (*pars*) Schlüter : *Die Regul. Echin. der Norddeuts. Kreide*. II, p. 196.
— *Maestrichtensis* (*pars*) Schlüter : *op. cit.*, p. 196.

Cotteau a rapporté à son *Salenia Bonissenti*, en 1875, une espèce de Salénie présentant le facies général du *S. Bourgeoisi* et que l'on recueille assez communément à Ciply, dans le poudingue de la Malogne. Il est malheureusement fort difficile de savoir si ce rapprochement est exact.

En effet, le type du *Salenia Bonissenti* est une espèce du Cotentin encore rare et fort mal connue; le moule en plâtre ne permet pas d'en saisir les caractères et, en l'absence de grossissements, les figures données par Cotteau sont insuffisantes pour caractériser une espèce de ce groupe, à ce point qu'à l'heure actuelle il est impossible de dire si le fossile d'Orglandes est un *Salenidia* ou reste un vrai *Salenia*. Les très rares individus recueillis depuis et qui m'ont été communiqués sont trop frustes pour fournir d'utiles renseignements. Malgré ces difficultés, M. Schlüter a cru devoir réunir le *S. Bonnisenti* d'Orglandes au *S. anthophora* Muller, d'Aix-la-Chapelle. Ce dernier, bien que figuré par son auteur (1), trop longtemps connu seulement par un moule en plâtre, qui aurait appartenu au *S. stellifera* Hagenow, peut être plus régulièrement interprété depuis que le savant professeur de Bonn nous en a donné d'excellentes figures (*op. cit.*, pl. XX, fig. 1, 5). C'est bien

(1) *Monographie der Petrefact. d. Aachener Kreideform.*, 1r Abth., p. 7, Tab. 1, fig. 1. Bonn, 1847.

Digitized by Google

une espèce d'assez forte taille, renflée, peu élevée, à apex faiblement persillé et très petit péristome; mais c'est encore un vrai *Salenia* avec assules des ambulacres presque toutes composées de deux éléments, en sorte que la plupart des granules correspondent à deux paires de pores faiblement obliques. Déjà le type de Muller présentait bien ce caractère et semble très différent de celui du Cotentin. L'espèce de Ciply, dont toutes les assules dans l'ambulacre sont de simples primaires, dont les pores, plus espacés, sont disposés au flanc des granules si obliquement que l'externe s'ouvre presque au-dessus de l'interne, ne saurait donc rester confondue avec le *Salenia anthophora*. C'est d'ailleurs ce que M. Schlüter a parfaitement compris; aussi a-t-il séparé l'espèce belge de celle du Cotentin sous le nom de *S. Maestrichtensis*. Malheureusement le type du *S. Maestrichtensis* est la petite espèce de Maestricht, figurée dans la *Paléontologie française* (pl. 1040, fig. 25, 28) sous le nom de *S. Bourgeoisi*. Or, elle paraît constituer une espèce différente du *Salenidia* de Ciply, qui est de plus grande taille, plus renflé, à péristome plus étroit, apex plus persillé sur ses bords, orné d'un réseau apparent de radiations costiformes et de fossettes angulaires plus larges.

En résumé, il n'est pas établi pour moi que le *S. Bonissenti* Cotteau soit identique au *S. anthophora* Muller, et l'espèce de Ciply, évidemment différente de ce dernier, peut toujours être rapportée au premier, ainsi que l'avait proposé Cotteau, qui devait mieux que personne connaître son *S. Bonissenti*. Quant au *S. Maestrichtensis*, c'est encore évidemment autre chose que le *Salenidia* de Ciply, dont voici la diagnose :

Espèce de moyenne taille, médiocrement élevée (type : diam. 14, haut. 9 mill.; grand individu : diam. 20 mill.), remarquable par l'étroitesse de son péristome à très faibles et fines entailles, par son large apex, à bords frangés, avec périprocte subcirculaire entouré d'un bourrelet saillant; le disque apical est comme persillé par les larges et profondes fossettes angulaires des plaques génitales et ocellaires, et par les fossettes suturales médianes sur la ligne de contact de chaque génitale avec ses voisines; ces plaques génitales, pourvues d'une perforation centrale, offrent une surface très finement chagrinée et régulièrement ondulée. Quelques individus, d'une conservation plus parfaite, montrent que ces ondulations sont occasionnées par un réseau de petites côtes rayonnant du centre des plaques et semblable à celui décrit par Cotteau chez le *S. trigonata*. Les ambulacres, plus ou moins étroits, portent, entre les rangées de granules externes mamelonnés, de fins granules inégaux, épars; les pores sont simples jusqu'au péristome. Les plaques ambulacraires sont toutes des primaires granulifères; on remarque

Digitized by Google

cependant exceptionnellement près de l'apex la présence de quelques assules porifères supplémentaires entrant dans la composition d'une plaque granulifère. Ces plaques exceptionnelles ne me paraissent pas fournir un argument sérieux pour le rejet du genre *Salenidia;* elles n'ont ici que l'importance d'une anomalie individuelle. Les interambulacres sont garnis de tubercules peu nombreux avec granules intermédiaires épars, inégaux.

Rapports et différences. — Le *Salenidia Heberti* Cotteau, de Meudon, a une forme plus haute, l'apex plus étroit, moins profondément persillé, une zone de granules miliaires bien plus développée tant dans les ambulacres que les interambulacres.

Explication des figures. — Planche II, figure 13, *Salenidia Bonissenti* du poudingue de la Malogne (Musée de Bruxelles), vu au-dessus; figure 14, le même vu de profil; figure 15, le même vu au-dessous; figure 16, aire ambulacraire du même, grossie.

Salenia Belgica Lambert, 1897.

(*Voir pl. III fig. 1, 2, 3, 4, 5 et 6.*)

A côté de l'espèce précédente, le poudingue de la Malogne a fourni quelques rares individus de vrai *Salenia*. Leur forme générale est peu différente, mais leur péristome, bien plus développé, présente sur ses bords des entailles plus larges et ourlées. Leur apex, à contours simplement sinueux, est finement chagriné, plat, avec périprocte circulaire, presque ouvert à fleur du disque. Les sutures des plaques, bien apparentes, montrent chacune une fossette médiane et des fossettes angulaires toutes étroites et peu profondes, très différentes de celles du *Salenidia Benissenti*. Les ambulacres, composés de plaques granulifères à deux éléments, sont étroits et portent cependant, entre les granules mamelonnés externes, de fins granules miliaires inégaux, épars. Interambulacres présentant une zone miliaire centrale un peu plus développée que chez l'espèce précédente. La taille de l'espèce varie, d'après les matériaux qui m'ont été communiqués, de 7 à 16 millimètres de diamètre; le type figuré a 14 millimètres de diamètre sur 8 de hauteur.

Ce *Salenia* se rapproche un peu du groupe du *S. scutigera* Munster (*sub. Cidarites*), tel que Cotteau le comprenait dans la *Paléontologie française;* mais il en diffère par l'étendue de son apex et par le

Digitized by Google

moindre développement des granules miliaires dans l'interambulacre (1).

Rapports et différences. — Dans sa collection, M. Peron avait rapporté cette espèce au *Salenia minima* Desor, petite forme de Ciply que Cotteau a omis de mentionner dans ses *Échinides crétacés du Hainaut*. Je n'ai pas cru pouvoir accepter ce rapprochement, car le *S. minima* s'éloigne beaucoup du *S. Belgica* par sa taille si exiguë, sa forme déprimée, l'ampleur du péristome et de l'apex. Je sais bien que *S. minima* a tous les caractères d'un jeune, mais au diamètre de 7 millimètres le jeune *S. Belgica* présente déjà tous les caractères de l'adulte et ne forme nullement passage d'un type à l'autre. L'identité des deux espèces n'étant pas démontrée, il m'a paru préférable de ne les pas confondre.

Le *S. Belgica* se distingue facilement de ses congénères de la craie supérieure par son disque apical presque lisse et par ses ambulacres étroits à granules miliaires, rares, inégaux, dont les moins petits alternent régulièrement avec les granules principaux. L'espèce la plus voisine serait le *S. scutigera* Cotteau, variété de Maestricht, figuré dans la *Paléontologie française* (Crét., VII) à la planche 1036, figures 13 à 16; mais ce dernier a son péristome plus petit, son apex moins développé, plus orné, distinctement impressionné avec fossettes suturales plus larges et plus nombreuses. Le *S. stellifera* Hagenow a aussi son péristome moins large et son apex pourvu de fossettes suturales plus nombreuses avec radiations costiformes bien apparentes. *Salenidia Heberti* Cotteau appartient à un tout autre groupe. Quant au *S. Maestrichtensis* Schlüter, créé essentiellement pour le petit *Salenia* des figures 25 et 28 de la planche 1040 de la *Paléontologie française* (Crét., VII), c'est une espèce plus petite, plus déprimée, à apex moins pentagonal, avec fossettes angulaires beaucoup plus larges et plus profondes; il ne me paraît pas possible de la confondre avec le *S. Belgica*.

Explication des figures. — Planche III, figure 1, *S. Belgica*, vu au-dessus (Musée de Bruxelles); figure 2, le même vu au-dessous; figure 3, le même vu de profil; figure 4, aire ambulacraire du même, grossie; figure 5, individu jeune de la même espèce (coll. Peron) vu au-dessous; figure 6, le même grossi trois fois.

(1) Le type du *Cidarites scutiger* (Goldfuss : *Petref.*, p. 121, pl. 49, fig. 4) provenait des sables crétacés de Kehlheim (Bavière). C'est une petite espèce, à disque apical médiocre à zones miliaires interambulacraires bien développées et peut-être différente du *Salenia scutigera* Cotteau.

Digitized by Google

Gauthieria Broeckl Lambert, 1897.

(*Voir pl. IV, fig. 1, 2, 3, 4 et 5.*)

Le *Gauthieria radiata* Sorignet (*sub. Cyphosoma*) est un des Échinides le plus abondamment répandus dans la craie, un des mieux connus dans tous ses détails et en même temps un des plus remarquables sous le rapport de la longévité. Il était donc tout particulièrement intéressant de rechercher si on le retrouve réellement jusque dans l'horizon du poudingue de la Malogne, où Cotteau l'avait signalé en 1875.

J'ai recueilli ce *Gauthieria* à la base du Turonien, dans les marnes à *Actinocamax plenus* de Maffrecourt (Marne). M. Hébert l'a signalé dans la zone à *Inoceramus labiatus* de Saint-Jonin (Calvados). Il est peu rare dans les marnes à *Trebratulina gracilis* de l'est du bassin de Paris, mais il y est toujours de plus petite taille que dans les zones synchroniques de la craie blanche, comme si l'espèce n'avait acquis tout son développement que sur des fonds essentiellement crayeux. Ce qui tendrait à le prouver, c'est que sur les mêmes points de l'Est, dès que les bancs deviennent plus calcaires, la taille augmente. Ce cyphosomien est une des espèces les moins rares de la craie à *Micraster breviporus*, où il atteint jusqu'à 26 et 28 millimètres de diamètre, et se rencontre parfois dans un état de conservation exceptionnelle avec son apex presque intact. Je l'ai retrouvé à la base du Sénonien de l'Yonne, dans des couches caractérisées par mon *Micraster icaunensis;* puis, au-dessus, dans les diverses assises à *Micraster decipiens* et à *Mic. coranguinum*. M. Peron l'a recueilli dans la craie à *Actinocamax quadratus* de Reims et dans celle à *Belemniatella mucronata* d'Épernay. L'espèce a d'ailleurs été depuis longtemps signalée dans la craie à *Magas pumilus* de Meudon. On pourrait enfin lui rapporter quelques radioles cylindriques lisses, trouvés par M. Peron dans la craie phosphatée de Ciply.

Dans ses Échinides crétacés du Hainaut, Cotteau signalait l'espèce à un horizon encore plus élevé, dans le poudingue maestrichtien de la Malogne, et M. Peron y a rapporté, dans sa collection, les beaux échantillons qu'il a recueillis à Ciply. Il importe cependant de remarquer que tous ces individus maestrichtiens diffèrent du type par des caractères importants déjà indiqués dans le travail de Cotteau : péristome à fleur du test; zone miliaire moins large, garnie de granules plus grossiers; partie lisse (marsupiale) de la zone miliaire plus étroite; impressions rayonnantes des scrobicules toujours bien nettes dans l'ambulacre, mais indistinctes dans les interambulacres.

Digitized by Google

Ces différences s'expliquent suffisamment par la longueur du temps écoulé entre le Turonien supérieur, où vivait le type du *Gauthieria radiata*, et le Maestrichtien; mais elles me paraissent trop considérables pour ne pas motiver une distinction spécifique.

En effet, si les caractères tirés de la granulation et même des impressions strobiculaires sont peu importants, il n'en est pas de même de la forme et de la disposition du péristome.

Je suis heureux de dédier le *Gauthieria* du poudingue de la Malogne au savant secrétaire de la Société belge de géologie. L'espèce nouvelle est évidemment ce que M. le professeur Gaudry a appelé une espèce géologique, car au point de vue zoologique, il ne paraît pas y avoir entre les deux formes de caractères distinctifs suffisants pour que l'on puisse mettre en doute la descendance directe qui les relie.

En résumé, *G. Broecki* me paraît être la forme maestrichtienne du *G. radiata*.

Le type figuré présente une singulière anomalie dans la disposition de ses pores près de l'apex ; ceux-ci paraissent être bigéminés ; mais il

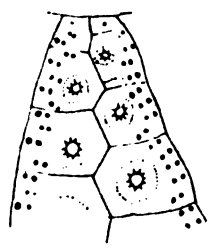


FIG. 1. — Ambulacre V grossi six fois du *Gauthieria Broecki*, type figuré de la collection Peron avec pores d'apparence bigéminés.

n'y a là qu'une apparence, car les majeures restent composées de leurs quatre ou cinq éléments, sans adjonction de plaques nouvelles ; toutes les assules porifères sont des primaires plus ou moins développées et non des supplémentaires rejetées dans la zone porifère, comme cela a lieu chez *Diplopodia* ou *Cyphosoma*. Cette anomalie porifère ne se retrouve d'ailleurs chez aucun des autres individus examinés, qui tous ont leurs ambulacres unigéminés jusqu'à l'apex.

EXPLICATION DES FIGURES. — Planche IV, figure 1, *Gauthieria Broecki* du poudingue de la Malogne (Danien de Ciply, d'après M. Peron), vu au-dessus (coll. Peron); figure 2, le même vu de profil; figure 3, le même vu au-dessous; figure 4, interambulacre du même, grossi; figure 5, ambulacre grossi.

Digitized by Google

Rachiosoma Grossouvrei Lambert, 1897

(*Voir pl. III, fig. 11, 12, 13, 14 et 15.*)

Espèce rotulaire de petite taille (diam. 18 mill., haut. 4), subpentagonale, déprimée, à péristome large, peu enfoncé et apex caduc très étendu. Ambulacres saillants, à zones porifères onduleuses, unigéminées, formant devant les tubercules des arcs de quatre ou cinq paires de pores. Tubercules assez développés, à scrobicules étroits, entourés d'un cercle complet de granules. Interambulacres avec deux rangées de huit tubercules principaux, semblables aux ambulacraires, saillants, mais à scrobicules peu développés, entourés de granules semblables à ceux de la zone miliaire et montrant une tendance à s'irradier autour du tubercule ; pas de tubercules secondaires ; zone miliaire assez étendue, uniformément couverte de granules assez gros, mais égaux et réguliers.

Rapports et différences. — Cette petite espèce est évidemment voisine encore du *Gauthieria radiata*, mais elle s'en éloigne par sa forme plus déprimée, par son péristome plus large et moins enfoncé, par ses plaques interambulacraires plus allongées, par ses tubercules à scrobicules plus étroits, dépourvues de radiations costiformes, par sa zone miliaire moins développée et sa granulation plus régulière, très différente. Le *G. Broecki* est bien plus renflé, a son péristome ouvert encore plus à fleur de test, des granules moins réguliers, plus inégaux, épars. L'apex étant inconnu, malgré son développement et sa forme pentagonale, un peu accuminée en arrière, il ne m'a pas paru possible de rapporter, quant à présent, notre espèce au genre *Gauthieria*.

Sa granulation fine et régulière, rappelant un peu celles des *Thylechinus* typiques, et sa forme très déprimée ne permettent pas de confondre ce *Rachiosoma* avec ses congénères.

Localités. — Je ne connais que deux individus de cette espèce; l'un et l'autre ont été recueillis dans le poudingue de la Malogne par MM. Peron et de Grossouvre.

Explication des figures. — Planche III, figure 11, *Rachiosoma Grossouvrei*, vu au-dessus (coll. de Grossouvre) ; figure 12, le même vu au-dessous; figure 13, le même vu de profil; figure 14, ambulacre grossi du même; figure 15, interambulacre grossi.

Cyphosoma Corneti Cotteau, 1875.

L'échantillon du Musée de Bruxelles, qui m'a été communiqué, est le type même de l'espèce décrit et figuré par Cotteau. Il provient du poudingue de la Malogne.

Digitized by Google

Cyphosoma inops Lambert, 1897.

(*Voir pl. IV, fig. 6.*)

Un radiole du Musée de Bruxelles, provenant de la craie phosphatée et mesurant 15 millimètres de longueur sur 1 $^1/_2$ de diamètre : tige allongée, subfusiforme, comprimée, ornée de stries longitudinales microscopiques; anneau saillant, strié; facette articulaire peu nette.

M. Peron a aussi recueilli dans la craie phosphatée de Ciply quelques individus de cette espèce; ces radioles ne m'ont paru pouvoir être correctement attribués à aucun test connu, ni pouvoir être rapprochés d'aucune espèce aujourd'hui figurée.

Le *C. subcompressum* Cotteau, du Cénomanien, plus régulièrement cylindrique, a le bouton bien moins développé. Le *C. remus* Cotteau, du Sénonien du Sud-Ouest, a sa tige bien plus comprimée, spatuliforme et non acuminée, ornée de petits plis qui manquent chez le *C. inops*. — Les radioles du *C. spatuliferum* Forbes sont bien plus allongés, spatuliformes et non acuminés. Le *Pseudodiadema Caroli* de Loriol, du Valengien d'Arzier, ressemble beaucoup à notre espèce, mais paraît en différer par les très fortes crénelures de sa facette articulaire.

Explication des figures. — Planche IV, figure 6 radiole du *C. inops* du Musée de Bruxelles, grossi au double.

Cyphosoma Rutoti Lambert, 1897.

(*Voir pl. IV, fig. 7 et 8.*)

Radiole de petite et moyenne taille (longueur 10 millimètres, largeur 2 $^1/_2$); tige relativement courte, comprimée en forme de rame, garnie de petites côtes régulièrement espacées ; collerette courte, lisse; anneau saillant, strié; facette articulaire peu nette.

Ce radiole présente quelques rapports avec celui du *C. remus* Cotteau, du Sénonien supérieur de Royan, mais il en diffère par sa forme moins comprimée et par ses ornements, consistant en côtes moins nombreuses et plus saillantes. Il est moins effilé, plus épais et montre une collerette plus distincte qu'une espèce voisine, encore inédite, du Garumnien de Gensac.

Localité. — Ciply, étage Sénonien; d'après M. Peron, paraît venir de la craie phosphatée.

Explication des figures. — Planche IV, figure 7, radiole du *C. Rutoti* grossi au double; figure 8, coupe du même.

Digitized by Google

Pyrina Houzeaui Cotteau, 1875.

J'ai sous les yeux un très bel individu de cette très rare espèce; il a été recueilli par M. Peron dans le Tufeau supérieur. Sa forme est un peu plus renflée que chez le type. L'apex, bien conservé, comprend quatre génitales perforées et une impaire imperforée, toutes en contact

FIG. 2. — Apex d'un *Pyrina Houzeaui* Cotteau de la collection Peron, grossi cinq fois, pour montrer le développement central de la plaque criblée et la position de la cinquième génitale imperforée. Les pores ocellaires sont à peine distincts.

avec la partie criblée de la plaque 2; l'ocellaire IV s'intercalle entre les trois génitales 2, 3, 4 et les deux ocellaires I et V sont un peu rejetées en arrière. Le périprocte, très bas, s'ouvre à fleur du test et n'est relié au péristome par aucune dépression. Ce dernier est plus nettement pentagonal que dans le type, tout en restant oblique, un peu allongé vers l'aire 2.

Par les caractères de son apex, ses pores plus écartés, plus obliques, cette espèce s'éloigne sensiblement des vrais *Pyrina;* elle se rattache au petit groupe dont dépend *P. lævis* du Cénomanien, aussi pourvu d'une génitale impaire imperforée et pour lequel Agassiz semble avoir autrefois proposé le genre *Globator*.

Un deuxième individu de *Pyrina*, du Musée de Bruxelles, malheureusement empâté dans la roche et trop mal conservé pour permettre une description détaillée, diffère du type par sa forme plus haute, subconique, sa face inférieure pulvinée avec ambulacres paires occupant de légères dépressions au voisinage du péristome. Le périprocte s'ouvre non à la surface du test, mais dans une dépression oblique qui se relie à une saillie de la face inférieure vaguement prolongée jusqu'au péristome, comme chez les *Caratomus*. Les ambulacres simples sont bien ceux du *P. Houzeaui :* les pores s'échelonnent en triades pseudotrigéminées au voisinage du péristome. Malgré ces différences, je crois devoir considérer cet échantillon comme un individu très adulte du *P. Houzeaui,* tout en faisant remarquer ses analogies avec le *P. montainvillensis* Sorignet, du Calcaire pisolithique.

Digitized by Google

Caratomus sulcatoradiatus Goldfuss (*sub. Galerites*), 1826.

(*Voir pl. V, fig. 5, 6 et 7.*)

Cette belle espèce est rare à Ciply, et je n'en connais que quatre individus, deux du Musée de Bruxelles et deux de la collection Peron, tous recueillis dans la craie phosphatée. Ce *Caratomus* a été par la plupart des auteurs confondu avec le *C. avellana* Dubois. Il a en effet un peu la forme générale du type de la craie de Crimée refiguré par Desor (*Monog. des Galérites*, pl. V, fig. 11, 13), mais en diffère par sa taille plus développée (long. 20 mill., larg. 18, haut 10), par sa face inférieure subpulvinée, son petit péristome subpentagonal faiblement oblique, la saillie de la face inférieure autour d'un périprocte étroit et très nettement triangulaire, et surtout par les dépressions faibles, mais bien apparentes, qu'occupent les ambulacres au voisinage du péristome et qui ont valu à l'espèce son nom. Goldfuss indiquait déjà très bien que chez son espèce le péristome est légèrement excentrique en avant, tandis qu'il est subcentral chez le *C. avellana* Dubois. Enfin, les zones porifères qui se rapprochent beaucoup au voisinage du péristome sont composés de pores sans tendance à s'échelonner comme ceux du *C. peltiformis*, mais en lignes moins droites que chez *C. avellana* d'Orbigny du Cotentin.

Localités. — Ciply, craie grise (M. Peron) et Mesvin, exploitation Bernard, craie phosphatée (Musée de Bruxelles).

Explication des figures. — Planche V, figure 5, *C. sulcatoradiatus* du Musée de Bruxelles, vu au-dessus; figure 6, autre individu de la collection Peron, vu au-dessous; figure 7, le même, vu de profil.

Caratomus Rutoti Lambert, 1897.

(*Voir pl. IV, fig. 15, 16, 17, 18 et 19.*)

Petite espèce (long. 10 mill., larg. 7, haut. 4) déprimée, allongée, arrondie en avant, faiblement anguleuse en arrière; face supérieure subconvexe, à bords renflés; face inférieure déprimée; péristome central enfoncé, large, subpentagonal, oblique; périprocte très développé, transversalement elliptique, moins marginal et plus rapproché du péristome que celui du *C. peltiformis;* ambulacres du genre à pores très petits, à peine perceptibles.

Digitized by Google

Au premier abord, on pourrait prendre le *C. Rutoti* pour un jeune du *C. peltiformis* var. *Belgica*, si la position moins marginale du périprocte n'était un caractère exclusif d'un défaut de développement. On sait en effet que le périprocte tend toujours à se rapprocher du péristome pendant la croissance du jeune Échinide. J'ai pu d'ailleurs comparer des individus de même taille des deux espèces : les différences signalées subsistent très apparentes et la position centrale du péristome imprime au *C. Rutoti* un facies bien particulier.

Localités. — Ciply, poudingue de la Malogne, très rare; Musée de Bruxelles.

Explication des figures. — Planche IV, figure 15, *C. Rutoti* vu au-dessus; figure 16, le même grossi; figure 17, le même vu au-dessous; figure 18, le même grossi; figure 19, le même vu de profil.

Caratomus peltiformis Wahlenberg (*sub. Echinites*), 1818.

(*Voir pl. IV, fig. 11, 12, 13 et 14.*)

Sous le nom de *Caratomus avellana* Agassiz, Cotteau ne citait ce petit oursin que du poudingue de la Malogne; les échantillons du Musée de Bruxelles, qui m'ont été communiqués, proviennent en majorité de la craie phosphatée.

Il importe tout d'abord de remarquer que sous ce nom de *C. avellana* les auteurs paraissent avoir confondu des espèces fort différentes :

Le vrai *C. avellana* est une espèce de la craie de Crimée, établie en 1837 par Dubois de Montpéreux, qui en faisait un *Catopygus*. (*Voyage au Caucase*, pl. I, fig. 19, 21.) Desor l'a refigurée avec assez de détails dans sa *Monographie des Galérites* (p. 36, pl. V, fig. 11, 13, 1842). C'est une forme très voisine du *C. sulcatoradiatus* Goldfuss (*sub. Galerites*), dont elle pourrait bien n'être qu'une variété.

Dans la *Paléontologie française*, d'Orbigny lui a réuni, en 1856, une forme du Cotentin (*Crét.*, VI, p. 370, pl. 942, fig. 1, 6) plus déprimée, subhexagonale, à ambulacres plus larges, composés de pores plus apparents, évidemment différente. Bien que cette réunion ait déjà été indiquée par Desor et maintenue dans le *Catalogue raisonné* (p. 93, 1847), il suffit de comparer les figures et surtout les grossissements de l'ambulacre donnés par Desor (pl. V, fig. 11a) et par d'Orbigny (pl. 942, fig. 6) pour s'assurer que les deux formes ne peuvent être simplement réunies. Je n'hésite pas à les séparer et je nommerai l'espèce du Cotentin

Digitized by Google

C. Dolfussi, en mémoire des belles études géologiques faites sur la craie de cette région par le dernier Président de la Société géologique de France.

Quant aux individus de la craie de Ciply confondus avec les précédents par Agassiz, d'Orbigny et Cotteau, ils me paraissent s'en distinguer très nettement. Ils n'ont presque pas de rapports avec le *Catopygus avellana* de Dubois, à apex et péristome subcentraux; ils se rapprochent peut-être davantage de la forme du Cotentin, mais en diffèrent par leur taille un peu plus petite, leur forme plus allongée, plus déprimée, leur périprocte moins ouvert et plus nettement triangulaire, surtout la disposition des pores autour du péristome, où ils forment des petites lignes échelonnées obliques de trois paires, tandis que chez *C. Dolfussi* les pores restent disposés en ligne droite jusqu'à la bouche. Ces Caratomes de la craie de Ciply sauraient d'autant moins, selon moi, être réunis au *C. avellana,* qu'ils appartiennent à une autre espèce, depuis longtemps figurée et admirablement décrite par Wahlenberg, sous le nom d'*Echinites peltiformis.* (*Petrif. telluris Suecanæ,* p. 49, pl. III, fig. 1, 2, 3, 1818.) Leur taille est seulement un peu moindre et leur périprocte moins largement ouvert; mais il ne diffèrent pas plus du type que l'individu figuré par d'Orbigny (*op. cit.*, pl. 943, fig. 7, 8) en reproduction de la planche 26, figure 2 d'Hisinger, dont je n'ai pas l'ouvrage à ma disposition. Ce second type du *Lethea Suecica* aurait sa face inférieure plus pulvinée, son péristome plus excentrique en avant que celui de Wahlenberg, mais ce dernier, de la craie de Bahlsberg, présente bien la même forme un peu allongée, déprimée, à péristome dévié en avant et apex excentrique que les individus de Ciply; cependant son périprocte est dit *apertura triangulari duplum majori quam oris,* tandis que le périprocte des individus de Ciply n'est pas beaucoup plus large que leur péristome. Cette seule différence m'a paru insuffisante pour motiver la séparation en deux espèces des individus belges et de ceux de Scanie, et je me borne à distinguer les premiers sous le nom de variété *belgica.*

Le *C. Laubei* Novak du Turonien (Iserschichten) de la Bohême avec une forme analogue et un périprocte très développé, est cependant plus allongé; son péristome, plus étroit, est plus excentrique en avant, sa face supérieure est plus renflée.

Localités. — Ciply, craie phosphatée et poudingue de la Malogne. Bahlsberg, Ignaberga (Suède), Danien.

Explication des figures. — Planche IV, figure 11, *Caratomus peltiformis* de la craie phosphatée de Ciply (Musée de Bruxelles) vu au-

Digitized by Google

dessus; figure 12, le même vu de profil; figure 13, le même vu au-dessous; figure 14, péristome du même, grossi.

Dans la synonymie qu'il a donnée de cette espèce, d'Orbigny a omis de citer :

Echinogalerus peltiformis König : *Icones fossilium sectiles*, planche XIV, figure 171, 1825.

Ce genre *Echinogalerus* avait été établi pour deux espèces très différentes : la première (fig. 170) sous le nom d'*E. rotularis*, reproduit les figures 114 à 117 de la planche 153 de l'*Encyclopédie*, c'est-à-dire le type du *Galerites rotularis* de Lamarck, universellement considéré comme identique au *Discoides subuculus* Klein, type de ce dernier genre. Le terme générique *Echinogalerus* n'a donc pu s'appliquer qu'à l'*Echinites peltiformis* Wahlenberg (fig. 171). C'est d'ailleurs ainsi qu'Agassiz l'a compris en 1842, puisqu'il en fait un de ses *Clypeastroidea*. (*Nomemclator zool. Echinod.*, p. 6.) Agassiz aurait dû en conséquence logiquement supprimer son genre *Caratomus*, crée en 1840 pour un groupe d'oursins, génériquement identiques à l'*Echinogalerus peltiformis* et d'ailleurs, à l'origine, bien insuffisamment caractérisé. *Caratomus* doit donc tomber en synonymie d'*Echinogalerus* de quinze ans plus ancien.

Genre **Lychnidius** Pomel, 1883.

Synonymie :

Nucleolites (*pars*) Goldfuss 1826. — *Trematopygus* (*pars*) d'Orbigny, 1856. — *Echinobrissus* (*pars*) d'Orbigny, 1857. — *Nucleolites* (*pars*) Desor, 1857 (*non*) Lamarck, 1816. — *Trematopygus* (*pars*) Pomel, 1883. — *Dochmostoma* (*pars*) Duncan, 1889.

Le genre *Trematopygus* d'Orbigny (1856) a été une des créations les plus méconnues de l'auteur de la *Paléontologie française* (*Crét.*, VI, p. 374), et ceux qui ont admis le genre, comme MM. Pomel et Duncan, n'ont pas voulu admettre le nom. Il est cependant reconnu aujourd'hui qu'on ne peut continuer à confondre dans un même genre des espèces à péristome pentagonal et des espèces à péristome oblique. La création du genre *Trematopygus* était donc parfaitement justifiée.

D'Orbigny l'a caractérisé de telle sorte que si l'on néglige les caractères de famille, inutiles à rappeler, on peut copier dans son ouvrage la diagnose suivante : Forme oblongue, peu renflée, concave et ondulée au-dessous, à ambulacres composés de pores inégaux, conjugués, les externes transverses, les internes simples ; quelques pores supplémentaires près d'un péristome obliquement comprimé ; périprocte supé-

Digitized by Google

rieur, placé au sommet d'un sillon. La première espèce citée, le *Nucleolites Olfersi* Agassiz, est parfaitement conforme à la diagnose; il en est de même des espèces suivantes : *T. Campichei, T. Grasi, T. Archiaci* du Néocomien et *T. analis* d'Orbigny (*non* Agassiz) de la craie de Villedieu (= *T. Guillieri*). D'Orbigny réunit ensuite à ces espèces : 1° par erreur, un *T. Ricordeaui*, à pores arrondis, égaux et péristome régulièrement pentagonal, puis 2° ses *T. oblongus*, *T. ovulum* et *T. Crucifer*, différents du type par leur face inférieure moins concave, leurs ambulacres à pores égaux, arrondis, leurs phyllodes plus accentués et leur sillon anal plus atténué.

On pouvait admettre le genre *Trematopygus* avec Wright, le rejeter comme l'ont fait MM. Desor et Cotteau ou le démembrer pour lui donner plus d'unité. Mais ce démembrement n'était légitime qu'à la condition de limiter le genre aux espèces conformes à la diagnose. M. Pomel a eu le tort de faire tout le contraire : il a émis la prétention de rejeter dans un genre nouveau, *Plagiochasma*, toutes les espèces typiques, pour limiter *Trematopygus* aux espèces à pores arrondis, égaux, tout en créant à côté un genre *Lychnidius*, qui n'en diffère par aucun caractère important ; puis, par une singulière contradiction, il donne pour type à son nouveau genre *Trematopygus* le *T. Archiaci* dont les pores sont nettement inégaux, extérieurement transverses, ainsi que j'ai pu m'en assurer par l'examen d'un individu du Néocomien de l'Aube. La proposition de M. Pomel est donc de tous points inacceptable, et son genre *Plagiochasma*, créé pour le vrai type des *Trematopygus* de d'Orbigny, tombe simplement en synonymie de ce dernier genre. Duncan s'est borné à remplacer le terme *Trematopygus*, créé depuis plus de trente ans et adopté par Wright, par le nom nouveau *Dochmostoma*, et cela sans aucun motif, sous le singulier prétexte que d'Orbigny aurait choisi un nom *not very felicitously*. Ce procédé arbitraire échappe à toute discussion.

Il n'en est pas moins vrai que le genre *Trematopygus* de 1856 manque d'homogénéité et qu'il y a lieu d'adopter le principe d'un démembrement proposé par Pomel en 1883, en séparant cette fois des vrais *Trematopygus*, à pores inégaux, les espèces non conformes à la diagnose primitive et pourvues de pores arrondis, égaux. Pour désigner ce groupe, il n'y a d'ailleurs pas à encombrer encore la nomenclature d'un terme générique nouveau, puisque M. Pomel a lui-même créé pour une espèce, génériquement conforme aux *Trematopygus oblongus* et *T. Analis* de d'Orbigny, un genre *Lychnidius*, reporté, on ne sait pour quelle raison, parmi les Caratomiens, et ayant pour type le

Digitized by Google

Nucleolites scrobiculatus Goldfuss. L'ambulacre de *T. oblongus*, composé de pores simples, forme en effet un pétale imparfait, ouvert comme celui du *N. scrobiculatus* ; les assules porifères sont à peine moins hautes chez le premier que chez le second.

Dans ces conditions, je n'hésite pas à maintenir le genre *Lychnidius* pour y placer tous les *Echinobrissidæ* à ambulacres composés de pores arrondis, à péristome oblique et à périprocte allongé supramarginal. *Trematopygus* en diffère par ses ambulacres à pores inégaux, *Pygaulus* *Amblipygus* et *Pygorhynchus* (1) par le même caractère et en outre par la position du périprocte, infère chez les premiers, marginal ou postérieur chez le dernier (2).

Le type du genre est le *Nucleolites scrobiculatus* Goldfuss du Maestrichtien.

Lychnidius scrobiculatus Goldfuss (*sub. Nucleolites*), 1826.

(*Voir pl. V, fig. 17, 18, 19, 20, 21 et 22.*)

Synonymie sommaire :

Nucleolites scrobiculatus Goldfuss : *Petref. Germ.*, p. 138, pl. 43, fig. 3, 1826.
Echinobrissus — d'Orbigny : *Pal. franç.*, Crét., VI, p. 413, pl. 961, fig. 6, 9, 1857.
Lychnidius — Pomel : *Genera*, p. 55, 1883.

Un seul individu de cette petite espèce m'a été communiqué; elle reste excessivement rare et, en dehors du type de Maestricht, je ne connais que l'échantillon recueilli par M. Cornet dans le poudingue de la Malogne.

Espèce de petite taille (longueur, 9 millim.; largeur, 7; hauteur, 6), allongée, très renflée, ayant sa plus grande hauteur un peu en arrière de l'apex, arrondie en avant et en arrière; face inférieure subpulvinée, déprimée au voisinage du péristome, qui est grand, faiblement excentrique en avant et transversalement oblique, sans bourrelets ni phyllodes

(1) Il existe une confusion extrême dans la nomenclature des *Echinobrissidæ*, où les genres les mieux établis ont été interprétés sans aucune règle par les auteurs subséquents. Le type du *G. Pygorhynchus* à péristome oblique est le *P. obovatus* Agassiz (*sub. Catopygus*) du Néocomien, comme le type du *G. Botriopygus* (= *Parapygus* Pomel) à péristome pentagonal est le *B. Cotteaui* d'Orbigny du Sénonien. Je donne le nom de *Plagiopygus* aux soi-disant *Pygorhynchus* tertiaires, dont le type est *Plagiopygus grignonensis* Defrance (*sub. Nucleolites*) de l'Eocène.

(2) Pomel a proposé pour les *Pygorhynchus* à périprocte postérieur un genre *Pygopistes*, qui ne me paraît pas indispensable.

Digitized by Google

distincts. Apex excentrique en avant avec quatre génitales entourant le madréporide, qui n'entre pas en contact avec les ocellaires. Ambulacres droits, courts (douze paires de pores aux ambulacres antérieurs, quinze aux postérieurs), à pétales ouverts composés de petits pores ronds, égaux, séparés par un granule. Périprocte assez rapproché du bord, bien développé, ovale, s'ouvrant presque à fleur de test, au-dessus d'un area sous-anal vaguement circonscrit. Tubercules nettement scrobiculés, épars, abondants au sein d'une fine granulation miliaire.

Ce petit oursin ne me paraît pas pouvoir être séparé du type figuré par Goldfuss, qui serait seulement, d'après les figures très grossies de la planche 43, un peu plus large et plus acuminé en arrière et aurait son péristome plutôt transverse qu'oblique. Cependant la section même dans laquelle Goldfuss a placé son *Nucleolites scrobiculatus* à côté d'espèces à péristome oblique, permet de penser que le type présentait ce caractère. D'Orbigny, en reproduisant la figure originale de Goldfuss à la planche 961 de la *Paléontologie française,* a fait accentuer cette obliquité du péristome, tout en laissant l'espèce dans le genre *Echinobrissus.*

Rapports et différences. — L'espèce la plus voisine serait le *Nucleolites ovulum* Goldfuss, aussi de la craie de Maestricht, à péristome mal connu, plus petit, plus excentrique en avant; apex plus central; ambulacres plus larges et plus longs; périprocte postérieur, comme celui d'un *Catopygus.* Je ne connais d'ailleurs cette espèce que par les descriptions et figures du grand ouvrage de Goldfuss. Le *Lychnidius analis* Agassiz *(sub. Nucleolites)* que l'on rencontre également dans le poudingue de la Malogne, est de forme bien plus large, presque circulaire, avec apex central, à madréporide en contact avec les ocellaires postérieures; il a ses ambulacres plus allongés et son périprocte ouvert au sommet d'un vague sillon qui échancre à peine l'ambitus. Le *L. oblongus* d'Orbigny *(sub. Trematopygus)* de la craie de Touraine est de taille bien plus développée; plus régulièrement oviforme, il montre un sillon anal plus apparent. Les deux espèces, à taille égale, diffèrent par la forme plus étroite, plus renflée au-dessus du *L. scrobiculatus,* dont le péristome est plus grand et plus central, le périprocte plus développé, moins marginal.

Explication des figures. — Planche V, figure 17, *Lychnidius scrobiculatus* vu au-dessus; figure 18, le même grossi trois fois; figure 19, le même vu au-dessous; figure 20, le même vu de profil; figure 21, le même vu par la face postérieure; figure 22, péristome du même, grossi.

Digitized by Google

Lychnidius amalis Agassiz (*sub. Nucleolites*), 1847.

Cette espèce, confondue par d'Orbigny avec une forme de Villedieu, qui est le *Trematopygus Guillieri* Cotteau, a été pour la première fois décrite et figurée par mon savant ami dans ses *Échinides crétacés du Hainaut*. Elle doit être fort rare, car je ne l'ai pas retrouvée parmi les espèces du poudingue de la Malogne qui m'ont été communiquées.

Genre **Nucleopygus** Agassiz, 1840.

Ce genre a été établi par Agassiz en 1840, pour ses *N. incisus* et *N. minor*, avec la diagnose suivante : *Ambitus oblongus, antice rotundatus, postice truncatus, non carinatus; ambulacra simplicia, ad peripheriam divergentia, poris non conjunctis; anus superius, in sulco areæ interambulacralis imparis situs. Os quinquangulare* (*Catal. system.*, p. 16, 1840). Il a été plus complètement décrit par Desor, en 1842, dans la *Monographie des Galérites* (p. 32). Le *N. minor* est alors considéré comme espèce typique, mais l'auteur hésite encore à en séparer le *N. incisus*, dépourvu de sillon anal et connu par un seul individu. Dans le *Catalogue raisonné* (p. 94, 1847), la diagnose primitive est à peine modifiée; les deux espèces déjà mentionnées sont maintenues, et Agassiz y ajoute le *N. coravium*. Cotteau, établissant en 1855 son genre *Desoria* (*Échin. foss. de l'Yonne*, t. I, p. 221), bientôt transformé en *Desorella* (*Bull. Soc. géol. de France*, 2e série, t. XII, p. 710), y place le *N. incisus*, démembré des *Nucleopygus*, parce que l'espèce est dépourvue du sillon caractéristique de ce genre. Il rappelle que Desor avait déjà prévu la nécessité d'établir pour lui une nouvelle coupe générique. Voilà donc le genre *Nucleopygus* définitivement et très correctement limité aux *N. minor* et *N. coravium*.

Cependant, deux ans plus tard, en 1857, dans la quatrième livraison du *Synopsis*, Desor, oubliant tout ce qu'il avait écrit en 1842 et la manière dont il avait alors compris le genre, le transforme arbitrairement et le substitue presque complètement au genre *Desorella* de Cotteau; s'il y laisse le *N. incisus*, il lui donne pour type le *Desoria icaunensis*, y ajoute trois *Pygaster* et en retranche le *N. minor*, type cependant du genre de 1842. La pensée de Desor au sujet du genre *Nucleopygus* était toutefois si incertaine, que l'année suivante, dans la sixième livraison du *Synopsis*, supprimant l'ancienne feuille 24 pour

Digitized by Google

lui en substituer une nouvelle, il remanie encore cette coupe générique et crée un nouveau genre *Nucleopygus*, qui ne contient plus aucune des espèces primitives d'Agassiz. On n'y trouve plus que le *Desoria icaunensis* et trois autres *Pyrina*. Ce genre *Nucleopygus* Desor (*non* Agassiz) tombe simplement en synonymie de *Pyrina*, et il n'y a aucun compte à tenir des interprétations trop fantaisistes du *Synopsis*.

On comprend qu'au milieu de la confusion apportée sur cette question par les variations de Desor, de bons esprits aient pris le parti de supprimer complètement le genre *Nucleopygus*. Aussi d'Orbigny, dans la *Paléontologie française* (Crét., VI, p. 463), réunit-il simplement *Nucleopygus* à *Pyrina*, tandis que Cotteau reporte les *N. minor* et *N. coravium* parmi les *Echinobrissidæ*, dans un genre *Nucleolites* Desor (*non* Lamarck) (*ibid.*, p. 464, note), opinion maintenue dans ses *Échinides de la Sarthe* (p. 203).

Aujourd'hui cependant que l'on est d'accord pour établir des sections génériques dans l'ancien grand genre *Echinobrissus* et *Nucleolites* de Breynius et de Lamarck, et pour séparer les espèces à péristome oblique de celles à péristome pentagonal, celles à périprocte contigu à l'apex de celles où il en est séparé, celles à pores arrondis égaux de celles à pores plus ou moins transverses, inégaux, il n'y a pas de raison pour ne pas réintégrer dans la méthode le petit genre *Nucleopygus* d'Agassiz, très suffisamment caractérisé dès l'origine et dont les espèces présentent bien l'apparence d'ambulacres complets, comme le disait Agassiz : *ambulacra simplicia, ad peripheriam divergentia*. Sans doute, il n'y a là qu'une apparence due à l'étroitesse de la partie pétaloïde de l'ambulacre et aussi à ce que, chez les espèces typiques, des séries de tubercules scrobiculés alternent avec les pores de la portion apétaloïde et dessinent une sorte de prolongement des pétales.

Pour légitimer cette réintégration, je me vois malheureusement obligé de continuer cette discussion un peu aride de travaux antérieurs, afin de rechercher d'une part les caractères exacts du *Nucleopygus minor*, type du genre, et d'autre part de prouver l'impossibilité de maintenir un genre *Nucleolites* Desor, 1857, complètement différent du genre *Nucleolites* Lamarck, 1816.

Il est en nomenclature deux principes incontestables : c'est qu'un genre plus ou moins modifié doit toujours correspondre à la diagnose primitive de son auteur, et, en second lieu, toujours renfermer au moins une des espèces pour lesquelles il a été établi. Or, le genre *Nucleolites*, simplement proposé par Lamarck en 1801 (*Système des Anim. s. vert.*, p. 347), maintenu et mieux défini en 1816 (*Anim.*

Digitized by Google

s. vert., t. III, p. 36), ne comprenait que quatre espèces : la première, fort complexe, *N. scutata*, et les trois autres destinées à rentrer dans le genre *Catopygus* d'Agassiz, 1836. Sous le nom de *N. scutata*, Lamarck a confondu plusieurs formes différentes, dont trois sans intérêt pour ma discussion : l'*Echinites clunicularis* Llhwyd, devenu le type du genre *Echinobrissus* Breynius, 1732; un Spatangue (*Spat. depressus* Leske) et une espèce presque nominale, l'*Echinites cordatus* Lang (*Hist. lap. fig. helvet.*, p. 120, tab. 35, fig. 1, 2, *in 1a ser.*), qui paraît être le *Nucleolites micraulus* Agassiz. La forme à laquelle s'applique essentiellement le terme scientifique nouveau *scutata* est celle confusément rapportée par Leske à son *Spatangus depressus*, mais non conforme à sa description (*Additamenta*, p. 338), figurée à sa planche 51 (fig. 1, 2) et reproduite dans l'*Encyclopédie* (pl. 157, fig. 5, 6). L'*Echinobrissus elatior* Breynius (*Schediasma*, tab. VI, fig. 3) ne paraît pas pouvoir s'en distinguer. Ce *Nucleolites scutata* a d'ailleurs été circonscrit, comme je viens de le faire, par Defrance dès 1825 (*Dict. Sc. nat.*, t. XXXV, p. 212) et immédiatement considéré comme type du genre; c'est aussi à ce titre qu'en 1834 il a été figuré par de Blainville sur la planche XVI, figure 1, du *Manuel d'Actinologie*. En 1839, Agassiz, qui venait de séparer des *Nucleolites* son genre *Catopygus*, a naturellement considéré à son tour ce *N. scutata* comme le vrai type du genre de Lamarck (*Échin. foss. de la Suisse*, I, p. 40), et cette interprétation naturelle a été adoptée par tous les auteurs jusqu'au jour où d'Orbigny, réintégrant dans la méthode le genre *Echinobrissus*, a rejeté *Nucleolites* dans sa synonymie. Desor, qui regrettait beaucoup l'abandon du terme *Nucleolites*, a imaginé, en 1857, de le conserver, en scindant le genre *Echinobrissus*, limité par lui aux espèces à pores inégaux, conjugués, et en établissant un nouveau genre *Nucleolites* pour les espèces à pores arrondis, inégaux, non conjugués (*Synopsis*, p. 257). L'intention pouvait être excellente, mais la solution était inadmissible, puisque le nouveau genre, absolument différent de celui de Lamarck, ne contenait plus une seule des espèces primitives. L'opinion de Desor a cependant été adoptée par la plupart des auteurs qui s'en sont rapportés à son autorité, sans s'inquiéter de savoir si le nouveau genre correspondait ou non à celui de Lamarck. On conviendra qu'il n'est pas possible de suivre indéfiniment et aveuglément de pareilles erreurs, et je n'hésite pas à ne tenir aucun compte du prétendu genre *Nucleolites* de Desor, en reprenant pour type du vrai genre *Nucleolites* Lamarck l'espèce universellement considérée comme telle : le *N. scutata*. Cette forme est extrêmement voisine du

Digitized by Google

genre *Echinobrissus*, mais non identique, puisque chez *Echinobrissus* le périprocte reste, même chez l'adulte, en contact avec l'apex, tandis que chez *Nucleolites*, voisin de l'apex à l'origine, il ne tarde pas à s'en éloigner plus ou moins suivant les espèces. *Nucleolites* a donc, vis-à-vis d'*Echinobrissus*, la même valeur que *Crotoclypeus* par rapport à *Clypeus*. On adoptera ou non ce genre; mais on ne saurait avec correction le comprendre autrement. Les genres *Lophopygus*, *Clitopygus*, *Acromazus*, *Taphropygus* et *Echinobrissus* (*pars*) de M. Pomel sont pour moi synonymes du genre *Nucleolites*, ou de simples sous-genres.

Il résulte avec évidence de cette discussion que *Nucleopygus* à pores arrondis, égaux, comprenant la majorité des prétendus *Nucleolites* de Desor et le genre *Ochetus* Pomel, diffère génériquement des vrais *Nucleolites* de Lamarck, à péristome pentagonal, périprocte séparé de l'apex et pores transverses inégaux (1).

Le type du genre *Nucleopygus* est, comme nous l'avons vu, le *N. minor* Agassiz, établi sur un individu de la collection Deshayes, de provenance inconnue, probablement de Royan (Desor, *Synopsis*, p. 266). Cotteau en a figuré un autre, provenant de la craie de Saint-Paterne, dont le périprocte est un peu plus éloigné de l'apex (*Échin. foss. de la Sarthe*, p. 293, pl. 48, fig. 14, 16). J'ai recueilli au même lieu deux individus de forme intermédiaire; ils se font remarquer par leur périprocte large, plus rapproché du sommet que du bord, par le développement de leur péristome transverse, par la présence d'une bande finement granuleuse à la partie inférieure de l'aire interambulacraire impaire, par leurs ambulacres subpétaloïdes, étroits, ouverts, composés de pores arrondis, non conjugués, difficilement perceptibles, paraissant se prolonger au delà de la partie pétaloïde.

En résumé, le genre *Nucleopygus* Agassiz, 1840, comprend pour moi tous les prétendus *Nucleolites* à péristome pentagonal de Desor, ceux à péristome oblique étant des *Lychnidius* Pomel. Le type de ce genre demeure le *N. minor* Agassiz de la craie de Touraine.

Voici d'ailleurs comment, dans la famille des *Echinobrissidæ*, je comprends le groupe des Échinobrissiens, caractérisé par ses ambulacres semblables, son péristome régulier, son périprocte supère et l'absence de sillons ambulacraires à la face inférieure. En diffèrent :

Les Archiaciens, par l'hétérogénéité de l'ambulacre impair;

(1) Sans doute la diagnose primitive n'indiquait pas ce caractère, parce qu'elle avait été établie sur les figures très défectueuses de Leske et de l'*Encyclopédie*, mais le type du genre, l'espèce commune de Trouville, est conforme.

Digitized by Google

Les Pygauliens, par leur péristome oblique;
Les Clypéens, par leurs sillons ambulacraires;
Les Catopygiens, par leur périprocte postérieur;
Les Pyguriens, par leur périprocte infère;

A. Périprocte contigu à l'apex. . . . . G. ECHINOBRISSUS.
Type. . . . . *E. clunicularis.*

A'. Périprocte séparé de l'apex :

B. Péristome pentagonal :

C. Ambulacres à pores inégaux :

D. Sillon remontant au sommet. . . G. NUCLEOLITES.
Type. . . . . *N. scutata.*

D'. Sillon étroit, ne remontant qu'au périprocte . . . . . S. G. *Clitopygus.*
Type. . . . . *C. Lorioli.*

D''. Sillon large, ne remontant qu'au périprocte . . . . . S. G. *Clypeopygus.*
Type. . . . . *C. Paultrei.*

C'. Ambulacres à pores égaux . . . . G. NUCLEOPYGUS.
Type. . . . . *N. minor.*

B'. Péristome allongé (genres ne comprenant que des espèces tertiaires et vivantes).

Nucleopygus coravium Defrance (*in* Agassiz et Desor), 1847.

(*Voir pl. V, fig. 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14.*)

Cette espèce, d'abord restée manuscrite, n'a été publiée qu'en 1847 dans le *Catalogue raisonné* (p. 94), où Agassiz la décrit comme dépourvue de sillon anal, bien qu'il la place dans un genre caractérisé par ce sillon. En réalité, elle en possède un, mais il est, à taille égale, moins profond que chez le *N. minor*. Elle était signalée comme se trouvant à la fois en Touraine et dans le Cotentin. D'Orbigny, après l'avoir énumérée dans son *Prodrome*, ne la mentionne même plus dans la *Paléontologie française*, où il paraît l'avoir confondue avec le *Nucleolites minimus* d'Agassiz. Rétabli par Desor dans le *Synopsis* et limité

Digitized by Google

aux individus du Cotentin, le *Nucleopygus coravium* n'a plus été mentionné que par Cotteau dans ses *Échinides crétacés du Hainaut.*

Pour bien comprendre cette espèce, il importe tout d'abord de mieux faire connaître la forme typique recueillie dans le calcaire à Baculites du Cotentin :

Nucleopygus de petite taille (longueur, 13 mill.; larg., 9; haut., 6), allongés, polygonaux, un peu déprimés, subanguleux en avant, subtronqués obliquement en arrière, concave au-dessous, renflés, un peu déclive au-dessus, ayant sa plus grande hauteur en arrière de l'apex, qui est excentrique en avant. Ambulacres pétaloïdes, semblables, les postérieurs seulement un peu plus longs, avec douze paires de pores au lieu de dix, tous droits, étroits, non fermés, composés de pores arrondis, égaux, conjugués. Au delà de la partie pétaloïde, les ambulacres se continuent par des pores microscopiques dont les lignes sont indiquées par des séries régulières de tubercules scrobiculés alternant avec eux, d'ailleurs semblables à ceux épars à la surface du test. De là cette apparence d'ambulacres simples qui avait trompé les premiers observateurs. Péristome subpentagonal, enfoncé, entouré de faibles bourrelets et de phyllodes peu développés. Périprocte plus rapproché du bord que de l'apex, infundibuliforme, au sommet d'un sillon postérieur faible et évasé. Tubercules nombreux, épars (sauf les rangées porifères), profondément scrobiculés, au sein d'une fine granulation miliaire; une zone d'apparence lisse, finement granuleuse, s'étend du péristome au bord sur la région correspondant au plastron. Apex à quatre pores génitaux et madréporide antérieur très peu développé.

Les individus adultes sont rares dans la craie de Fresville et la plupart ne dépassent pas la longueur de 7 à 8 millimètres. A cet âge, la forme est plus allongée, les ambulacres sont moins distincts, très courts, composés seulement de cinq paires de pores ronds, à peine conjugués; le péristome est dépourvu de bourrelets, le périprocte moins excentrique, arrondi. A la taille de 5 millimètres, la forme générale est moins anguleuse, plus renflée, le périprocte se trouve à mi-distance entre l'apex et le bord, les pores ambulacraires sont devenus presque complètement invisibles.

J'ai sous les yeux trois petits *Nucleopygus* de la craie phosphatée de Ciply, ceux-là même, je crois, qui ont été rapportés par Cotteau au *N. coravium.* Le plus grand ne mesure pas plus de 5 $^1/_2$ millimètres de longueur et sa conservation n'est pas très parfaite : c'est évidemment un jeune, à périprocte encore très rapproché de l'apex, à ambulacres encore apétaloïdes et qui diffère du type de Fresville par sa

Digitized by Google

forme un peu plus déprimée. On ne peut donc que le rapporter provisoirement à l'espèce du Cotentin, suivant l'opinion déjà exprimée par Cotteau.

Rapports et différences. — Le *N. coravium* est très voisin du *N. minor* ; mais ce dernier a une forme plus arrondie, plus renflée, sa face inférieure est moins déprimée en arrière du péristome; son péristome, beaucoup plus développé, est moins central, sans bourrelets ni phyllodes distincts; son périprocte, plus large, est plus rapproché de l'apex. Le *N. bohemicus* Novak *(s. Nucleolites)* du Turonien de la Bohême est plus carré, avec apex plus central et un périprocte en fente beaucoup plus allongée. Desor a rapproché le *N. coravium* du *Nucleolites Lamarcki* Defrance, espèce insuffisamment caractérisée par son auteur, mais, d'après la diagnose de Desor, de plus grande taille, plus renflée et avec périprocte au sommet d'un sillon à peu près vertical, caractère qui ne se retrouve jamais chez *N. coravium*. Avec une forme peu différente, l'*Echinobrissus pseudominimus* Peron et Gauthier s'éloigne considérablement de notre espèce par l'inégalité de ses pores, et rentre dans un autre genre : *Nucleolites*, section des *Clitopygus* Pomel. Le petit *Echinobrissus atlanticus* Kossmat, du Crétacé du Gabon, a ses ambulacres moins ouverts et un périprocte situé au sommet d'un sillon évasé rappelant la forme de celui du *Clypeopygus subquadratus* Agassiz *(sub. Nucleolites)*.

Il est plus difficile de comparer notre espèce au *Nucleolites minimus* d'Agassiz, attendu que l'on désigne sous ce nom des formes diverses et très disparates. Il est d'abord impossible de se faire une idée exacte du type, de la collection Deshayes, cité en 1840 dans le *Catalogus systematicus* sans indication de localité, insuffisamment décrit et vaguement rapporté au Crétacé dans le *Catalogue raisonné* (p. 96). D'Orbigny, le premier, a complètement décrit et figuré l'espèce dans la *Paléontologie française* (Crét., VI. p. 414, pl. 962, fig. 1, 6), mais sans indiquer la provenance du type figuré et en confondant sous le nom d'*Echinobrissus minimus* des formes diverses de Royan, Talmont, Meschers, Tours, Semblançay, Villedieu, Néhou et Le Beausset, tandis qu'il établissait à côté, pour une forme un peu plus carrée de la Touraine, son *Echinobrissus Bourgeoisi*. Ces individus de Touraine ont été depuis très bien décrits et figurés par Cotteau (*Échin. foss. de la Sarthe*, p. 290, pl. 48, fig. 5, 13). Sous le nom d'*Echinobrissus minimus* on a donc confondu :

1° La forme figurée par d'Orbigny, allongée, d'assez forte taille, à pores obliques, en sautoir, dépourvue de zone lisse en dessous et de provenance inconnue;

Digitized by Google

2° La forme figurée par Cotteau, encore allongée, à très petits pores ronds et zone lisse en dessous, du Sénonien moyen de Touraine ; sa forme varie légèrement, et l'on pourrait lui rapporter comme variété extrême l'*Echinobrissus Bourgeoisi ;*

3° La forme allongée, polygonale du Cotentin, qui est notre *Nucleopygus coravium ;*

4° La forme des Martigues, qui se retrouve dans le Campanien du sud-ouest, caractérisée par ses ambulacres plus larges, fermés, composés de pores inégaux, nettement conjugués; elle appartient à un autre genre et rentre dans la section *Clitopygus* du genre *Nucleolites* de Lamarck.

Jusqu'à ce que l'on ait pu étudier à nouveau le type de d'Orbigny et en préciser l'origine, il me paraît préférable d'en faire en quelque sorte abstraction et, avec Desor et Cotteau, de considérer l'espèce de la Touraine comme le type du *Nucleopygus minimus*, quitte à lui restituer le nom de *Nucleopygus Bourgeoisi* le jour où l'on viendrait à démontrer que les caractères indiqués par d'Orbigny sont réellement suffisants pour constituer une espèce distincte. Le *Nucleopygus minimus* Agassiz *(s. Nucleolites)* ainsi compris est surtout voisin du *N. minor*, dont il se distingue par sa forme plus déprimée, son péristome et son périprocte plus étroits, ce dernier proportionnellement plus éloigné de l'apex. Le *N. coravium*, adulte et à taille égale, se distingue du *N. minimus* par sa forme moins déprimée, plus polygonale, plus tronquée en arrière, par sa face inférieure plus concave, son péristome plus enfoncé, à floscelle mieux développé, son périprocte plus rapproché du bord, à sillon moins profond, ses ambulacres moins étroits, à pores plus largement ouverts. Les jeunes se ressemblent davantage ; cependant les caractères indiqués suffisent encore à les distinguer.

Explication des figures. — Planche V, figure 1, *Nucleopygus coravium* du calcaire à Baculites de Fresville (coll. Lambert) adulte, vu au-dessus, grossi au double; figure 2, profil du même; figure 3, le même vu au-dessous; figure 4, péristome du même, grossi ; figure 8, jeune de la même espèce et du même gisement, vu au-dessus; figure 9, le même, grossi trois fois; figure 10, profil du même; figure 11, individu de la craie de Ciply (Musée de Bruxelles) vu au-dessus; figure 12, le même, grossi; figure 13, le même vu au-dessous; figure 14, le même vu de profil.

Digitized by Google

Catopygus fenestratus Agassiz, 1847.

J'ai sous les yeux vingt-quatre individus de cette espèce provenant de la craie phosphatée et recueillis à Ciply, Mesvin et Spiennes. Malgré quelques variations de forme, ils présentent bien tous les mêmes caractères spécifiques.

Chez les individus de moyenne taille, l'ambulacre impair est un peu moins large, moins pétaloïde que les autres; les bourrelets péristomaux, toujours bien saillants, encadrent des phyllodes assez larges.

L'apex, lorsqu'il est bien développé, est presque entièrement occupé par le corps madréporiforme : les ocellaires, rarement distinctes, sont extrêmement réduites, enfoncées et percées d'une ouverture tout à fait microscopique; les génitales sont distinctes, mais les plaques 1, 3 et 4

FIG. 3. — Apex normal d'un *Catopygus fenestratus* Agassiz, grossi sept fois; les sutures des plaques sont à peine distinctes et le madréporide, très étendu, occupe presque tout l'appareil.

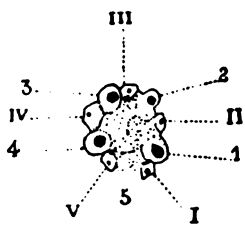


FIG. 4. — Apex un peu usé d'un individu moins adulte, où les sutures paraissent plus nettes.

FIG. 5. — Apex anormal à trois pores génitaux.

très réduites, surtout 3, qui tend chez les individus très adultes à se confondre avec le madréporide; les pores génitaux sont le plus souvent inégaux, les postérieurs plus écartés et plus larges que les autres, surtout le pore de la plaque 3, qui s'oblitère chez quelques individus.

Les observations que l'on peut faire sur l'apex de cette espèce me paraissent présenter un certain intérêt morphologique, car l'étendue du madréporide et l'absence de sutures distinctes au centre de l'appareil nous font comprendre comment s'est constitué l'apex à disque unique, entièrement envahi par le madréporide, chez les *Echinolampidæ*.

Digitized by Google

On sait, en effet, que chez les Oursins de cette famille les quatre génitales, confondues, ne forment plus qu'une masse d'apparence spongieuse, perforée par de nombreux hydrotrèmes et dans laquelle l'individualité des quatre plaques génitales a disparu; celle des ocellaires subsiste, mais ces plaques, singulièrement réduites, à peine visibles, sont reléguées au bord du disque central. Or, chez *Catopygus fenestratus* du Sénonien supérieur, si les plaques sont encore partiellement distinctes, le madréporide n'en commence pas moins à former un disque central, tendant à absorber les plaques élémentaires de l'apex et ne permettant plus d'en suivre les sutures centrales. Chez les *Catopygus* du Cénomanien, nécessairement moins évolués, l'aspect général de l'apex reste le même, mais les génitales conservent mieux leur individualité et alternent avec les ocellaires autour du madréporide, avec toutes leurs sutures distinctes. Il ne peut donc y avoir de doute sur la position du genre *Catopygus*, qui est encore un *Echinobrissidæ*, bien que son apex, ayant évolué pendant le dépôt de la craie, se soit éloigné un peu de celui du type primitif, représenté par *Phyllobrissus* du Valengien, pour se rapprocher de ceux, plus modernes, des *Echinolampidæ*.

Rapports et différences. — Le *C. fenestratus* a des caractères bien spéciaux : sa zone sternale finement granuleuse, son périprocte transverse, le développement de ses bourrelets péristomaux, la tendance des assules à se bossuer chez l'adulte ne permettent pas de le confondre avec ses congénères. Cotteau a expliqué que le prétendu *C. pyriformis* d'Orbigny était un *Oolopygus* (*O. pyriformis* Leske [s. *Echinites*], *Pal. franç.*, Crét., VI, p. 446, note). Quant au *C. conformis* Desor du calcaire à Baculites, avec une forme voisine, un périprocte également transverse, il est plus allongé, plus plat en dessous, avec péristome moins saillant et bourrelets moins développés; enfin son apex est toujours excentrique en avant. Malgré de nombreuses variations de forme, ce sont deux espèces à physionomie toujours nettement différentes.

Cardiaster granulosus Goldfuss (*sub. Spatangus*), 1826.

(*Voir pl. III, fig. 9 et 10.*)

Voici encore une espèce qui me paraît renfermer plusieurs formes distinctes, car il ne m'est pas du tout démontré que les individus du Turonien inférieur soient identiques au type de la craie de Maestricht, décrit et figuré par Goldfuss (*Petref.*, p. 148, pl. 45, fig. 3) et que d'Orbigny avait eu le tort de confondre avec le *Spat. ananchytis* de Leske.

Digitized by Google

J'ai expliqué ailleurs (*in* DE GROSSOUVRE, *Strat. de la craie sup.*, p. 266) qu'il y avait lieu de distinguer dans ce groupe au moins trois espèces : *C. sequanicus* Bucaille, du Cénomanien supérieur, *C. sarthacensis* Lambert, du Santonien, et *C. granulosus* Goldfuss, du Sénonien supérieur. Le type de ce dernier est d'assez forte taille (long., 52; larg., 41; haut., 29 mill.), à sillon antérieur profond, quoique faiblement caréné sur ses bords; face postérieure rentrante; face supérieure peu élevée, déclive, à peine moins haute au-dessus du périprocte qu'à l'apex, lequel est faiblement excentrique en avant; ambulacres paraissant (d'après la figure) composés de pores égaux dans les diverses zones? plastron étroit; péristome très large; gros tubercules de la face supérieure limités au voisinage de l'apex, aux bords du sillon et à la carène de l'interambulacre impair. Le type anglais, de la craie de Norwich, figuré par Forbes (*Geol. surv. Dec.*, IV, pl. IX, 1852), montre une face postérieure non rentrante et des ambulacres à zones porifères inégales, un sillon antérieur plus profond et de chaque côté une double rangée plus régulière de gros tubercules. Celui figuré par Wright en diffère un peu par son sillon moins profond, ses zones porifères moins inégales, etc. (*Brit. foss. Echin.*, Crét., pl. 69, fig. 2). Enfin, le type de la *Paléontologie française,* dont la localité n'est pas indiquée, est voisin de celui de Forbes, mais sa forme est plus haute, avec carène postérieure déclive en arrière (Crét., VI, pl. 826).

Les individus de Ciply que j'ai sous les yeux varient entre la taille de 44 jusqu'à celle de 66 millimètres, avec une hauteur respective de 27 et de 34 millimètres. Un seul individu, de la craie de Spiennes, présente un profil allongé et une face postérieure rentrante comme le type de Maestricht, mais ses ambulacres sont composés de zones porifères nettement inégales. Un autre, de la craie phosphatée de Ciply, se rapproche beaucoup du type de la *Paléontologie française,* bien qu'il n'en ait ni la face postérieure rentrante, ni l'area sous-anal déprimé, ni même bien exactement les ambulacres. D'Orbigny paraît en effet ne pas avoir suffisamment fait ressortir l'inégalité des zones porifères postérieures, ni la disposition vraie des branches II *b*, et IV *a*, qui s'atrophient en s'approchant de l'apex. Aucun individu de Ciply ne se rapporte exactement au type de Forbes, mais l'un d'eux est bien voisin de celui de Wright. Presque tous sont, en résumé, plutôt conformes à celui de la *Paléontologie française*, ce qui me dispense de donner de l'un d'eux une nouvelle description détaillée. Je ferai remarquer seulement que leur face postérieure est verticalement tronquée, dépourvue d'area sous-anal, et que les ambulacres paires sont composés de zones

Digitized by Google

porifères toujours inégales : les zones postérieures plus larges et plus développées que les antérieures; les pores sont obliques entre eux, mais non tous en circonflexe, comme semblerait l'indiquer la figure 8 de d'Orbigny. Dans les branches II *b* et IV *a*, les quatre dernières paires de pores microscopiques près de l'apex ne sont pas distinctes, même sous un assez fort grossissement; pour les huit paires suivantes, ils sont distincts, quoique très petits, arrondis et égaux; pour les sept qui viennent ensuite, plus développés, nettement visibles, les pores s'allongent surtout dans la série interne; puis viennent douze paires de pores transverses inégaux, deux paires en circonflexe et trois paires de pores arrondis, atrophiés; au delà, la partie subpétaloïde de l'ambulacre cessant, on ne voit plus que de petits pores microscopiques, arrondis, séparés par un granule.

Tous ces individus de la craie de Spiennes et de la craie phosphatée de Ciply appartiennent évidemment à une même espèce, identique au *Cardiaster granulosus* de la craie d'Angleterre et de celle de Meudon, probablement aussi identique au type de Maestricht, car, d'après un moule siliceux de ma collection, les ambulacres des individus de Maestricht sont composés de zones porifères, manifestement inégales. Ce moule me paraît particulièrement conforme à l'un de ceux de la craie de Spiennes, conservé au Musée de Bruxelles. On distingue bien sur ce dernier les sutures des plaques du plastron, d'ailleurs également visibles sur un individu avec test de la craie phosphatée. Le

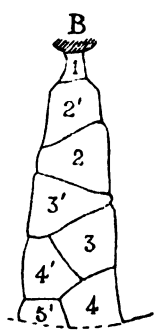


Fig. 6. — Plastron, grossi d'un tiers, d'un *Cardiaster granulosus* Goldfuss de la craie de Spiennes (Musée de Bruxelles). — B, le péristome; 1, le labrum; 2, 2', les deux sternales alternantes; 3, 3', les deux épisternales, dont 3' alterne encore avec les sternales; 4, 4' et 5', trois préanales, dont l'une 4' en fonction d'épisternale.

labrum est court et étroit; une seule épisternale alterne complètement avec les sternales, toutes étroites; il en résulte que la préanale 4' entre

Digitized by Google

en fonction d'épisternale. Ce plastron, profondément différent de celui des *Cardiaster* turoniens que j'ai fait connaître, montre une disposition archaïque très évidente, qui le rapproche des plastrons d'*Holaster*. Il semble indiquer un passage entre celui de ce dernier genre et le plastron d'*Hemipneustes*.

J'ai expliqué ailleurs qu'il n'y avait pas lieu de rapporter au *Cardiaster granulosus* Goldfuss le petit individu de la craie turonienne de Saint-Julien (Yonne), qui se distingue par la saillie si considérable des carènes de chaque côté du sillon; cette forme est plutôt à rapprocher du *C. Cotteaui* d'Orbigny, recueilli à Dieppe au même horizon. Quant à l'individu du Sénonien à *Micraster coranguinum* de Paron près Sens, ses zones porifères semblent un peu moins inégales, ses tubercules principaux sont moins développés que chez les individus de Ciply, mais ces différences sont trop faibles pour permettre d'opérer une séparation.

Explication des figures. — Planche III, figure 9, *Cardiaster granulosus* de la craie phosphatée de Ciply, vu au-dessus (Musée de Bruxelles); figure 10, ambulacre antérieur pair II, grossi.

Cardiaster Heberti Cotteau, 1860.

(*Voir pl. II, fig. 11 et 12.*)

Synonymie :

Holaster cordiformis Sorignet (*non* Morris, 1843) : *Oursins foss. de l'Eure*, p. 66, 1850.
Micraster — Desor : *Synopsis des Échin. foss.*, p. 362, 1858.
Cardiaster Heberti Cotteau : *Échin. foss. de la Sarthe*, p. 240, 1860.
— — Cotteau : *Échin. crét. du Hainaut*, p. 655, 1875.
Holaster cordiformis Lambert : *Essai de monogr. du genre Micraster*, p. 255, 1895.

Cette espèce n'a jamais été complètement décrite ni figurée. Le type de l'*Holaster cordiformis* Sorignet est un moule en silex très parfait, recueilli aux environs de Louviers, mais dont le niveau stratigraphique exact est longtemps resté inconnu. Sorignet en a donné une description exacte, sauf ce qu'il dit de la largeur des zones porifères dans les ambulacres pairs, car le moindre développement des zones II *b* et IV *a* est bien apparent sur le moule.

A moins d'être en présence de l'original de l'espèce, il était difficile de s'en faire une idée exacte depuis que Desor l'avait attribuée au genre *Micraster* (*Synopsis*, p. 362) ! J'ai sous les yeux l'étiquette qui porte de la main de Desor : « *Micraster* (*Epiaster*) *cordiformis* Desor », puis en note : « Les ambulacres sont trop convergents au sommet pour que » l'on puisse supposer que l'appareil apicial est allongé comme dans

Digitized by Google

» les *Holaster*. » A cette note est jointe une protestation restée inédite de l'abbé Sorignet, qui s'étonne à bon droit de voir un échinologiste aussi distingué que Desor faire un *Micraster* d'une espèce à ambulacres superficiels et dont l'apex n'a aucune analogie avec celui des moules de *Micraster*. Mais entre l'opinion de Sorignet et celle de Desor, personne n'avait hésité, et lorsque Hébert recueillit plus tard l'espèce dans la craie de Meudon, Cotteau proposa pour elle le nom nouveau de *Cardiaster Heberti*. Ce nom doit d'ailleurs être conservé, parce qu'il existait précédemment dans la méthode un *Holaster cordiformis* Morris (*Catal. of brit. foss.*, p. 54, 1843), créé pour le *Spatangus cordiformis* de Woodward (*Geol. of Norfolk*, p. 50, pl. V, fig. 6, 1833) et que Forbes avait reporté dans le genre *Cardiaster* (*Ann. nat. hist.*, 2e série, vol. VI, p. 443, 1850). Ce *Cardiaster cordiformis* de Forbes paraît identique au *C. granulosus* Goldfuss (*sub. Spatangus*) et est très différent de l'espèce qui nous occupe. Cependant, ayant eu l'occasion de m'occuper récemment du *Micraster cordiformis* de Desor, après avoir étudié les descriptions contradictoires de Sorignet et de Desor, j'ai été amené à reconnaître que l'espèce n'était pas un *Micraster* et qu'elle devait être très voisine du *Cardiaster Heberti*. Depuis lors, ayant retrouvé le type même de l'espèce de Sorignet, j'ai pu le comparer à des moules de la craie de Meudon et constater qu'il y avait entre eux identité absolue.

Ce grand *Cardiaster* (type de Louviers : long., 67; larg., 60; haut., 45 mill. Individu avec test de Meudon : long., 70; larg., 62; haut., 45 mill.) est remarquable par sa forme ovoïde, très rétrécie et acuminée en arrière, son sillon antérieur étroit et profond à l'ambitus, se prolongeant jusqu'à la face inférieure, où il reçoit l'ouverture d'un péristome plus excentrique que chez les autres espèces. Ce sillon, dépourvu de carènes latérales, s'atténue au-dessus et n'atteint pas l'âpex; il est occupé par une fine granulation miliaire qui lui donne un aspect lisse; le périprocte ovale est situé très bas, au sommet d'une face postérieure rentrante, fuyante sur les côtés et mal circonscrite. L'apex, un peu excentrique en avant, est nettement allongé. Ambulacres paires à zones porifères faiblement inégales : les postérieures seulement un peu plus développées que les antérieures; pores en fente, transverses, nettement conjugués. Fasciole marginal très net en arrière, diffus en avant, surtout au voisinage du sillon.

Le seul individu de la craie phosphatée de Ciply soumis à mon examen est trop écrasé pour être utilement figuré, mais comparé à de bons échantillons de Meudon, il leur est identique dans tous les détails.

Digitized by Google

Rapports et différences. — L'espèce la plus voisine du *C. Heberti* est le *C. æquituberculatus* Cotteau, qui l'a précédé, non, comme on l'a cru, dans la craie à *Inoceramus labiatus* de Sormery, mais dans celle à *Micraster coranguinum* de Paron, Sens et Pont-sur-Yonne. Il en diffère par son sillon antérieur moins profond à l'ambitus, moins large au-dessus, mais se prolongeant plus haut vers l'apex, par sa face inférieure moins bombée, presque plane, par son fasciole moins apparent et surtout par le volume plus considérable de ses tubercules à la face supérieure. Le *C. Facki* Stolley (*sub Stegaster*) de la craie à *Belemnitella quadrata* de Lägerdorf me paraît extrêmement voisin du *C. æquituberculatus;* on le confondra plus difficilement avec le *C. Heberti,* beaucoup moins large, avec sillon antérieur plus profond. *C. Facki* est probablement la forme intermédiaire reliant le *C. æquituberculatus* de la craie à *Micraster coranguinum* avec *C. Heberti* de celle à *Magas pumilus.* L'apex très excentrique en arrière du *C. Lehmanni* Stolley lui donne une physionomie bien particulière. Enfin la forme très élargie, très acuminée en avant du *C. maximus* Schlüter, de la craie à *Bel. mucronata* de Coesfeld, suffit pour le distinguer du *C. Heberti.*

Tous ces *Cardiaster* forment d'ailleurs au milieu de leurs congénères un petit groupe bien spécial, caractérisé par l'excentricité du péristome, s'ouvrant au fond du sillon antérieur très profond à l'ambitus, et aussi par l'absence de gros tubercules scrobiculés à la face supérieure. Mais ce groupe ne présente ni la fosse péristomienne profonde, ni les hautes plaques ambulacraires des *Stegaster.*

Explication des figures. — Planche II, figure 11, *C. Heberti* vu de profil, moule en silex de la craie de Louviers (Eure), type du *Holaster cordiformis* Sorignet (ma collection); figure 12, le même vu au-dessus.

Genre **Echinocorys** Breynius, 1732.

On a longtemps admis dans ce genre un grand nombre d'espèces assez mal caractérisées et dont quelques-unes étaient évidemment sans valeur. Forbes, en 1852, et d'Orbigny, en 1853, prirent alors le parti de les réunir toutes, ou presque toutes, en une seule, et leur opinion fut longtemps suivie; mais petit à petit on a rétabli quelques espèces nouvelles et on se trouve encore aujourd'hui en présence d'un nombre assez considérable d'*Echinocorys,* dont certains n'auraient dû être signalés qu'à titre de variété. Il existe donc actuellement entre les

Digitized by Google

diverses espèces décrites une inégalité qui appelle un travail de revision générale. L'examen des nombreux *Echinocorys* recueillis dans le Sénonien supérieur de Belgique, principalement dans la craie de Spiennes et dans la craie phosphatée de Ciply, doit constituer dans ma pensée un des éléments de ce travail d'ensemble.

On sait que le type du genre est l'*Echinocorys vulgaris* Breynius (*Schediasma de Echin.*, tab. III, fig. 1, 2, 1732) et le type de l'espèce la forme subconique, à base plane et non rétrécie, avec bords arrondis, ambulacres étroits à pores faiblement allongés, que l'on rencontre dans les couches inférieures du Sénonien, aux carrières de Gravesand (Kent). Cette forme, que je connais aussi de l'Yonne, de l'Aube et de la Somme, a été bien figurée par Forbes (*Geol. Surv. of the U. K. Dec.*, IV, pl. VI, fig. 1, 2, 3). L'*Ananchytes carinata* Defrance se trouve dans la craie à *Micraster coranguinum;* il diffère du précédent par sa forme plus élevée, plus déclive au-dessus, sa face inférieure à bords anguleux, la saillie de sa carène postérieure, ses pores ambulacraires plus allongés (voir Bayle, *Foss. princ. des terr.*, pl. 155, fig. 3, 4). L'*Echinocorys scutatus* Leske (*Addit. ad Kleinii nat. disp. Echin.*, pl. XV, fig. A, B) est la forme dominante de la craie à Bélemnites, où se rencontre également, avec l'*Actinocamax quadratus*, l'*Echinocorys subconicus*, et, avec *Belemnitella mucronata*, la forme ovoïde de Meudon (*Echinocorys meudonensis*). Toutes ces formes et beaucoup d'autres ne constituent pas pour moi de véritables espèces; elles représentent seulement des états plus ou moins fixes parmi les innombrables mutations à travers les âges et les espaces d'un type qui s'est prodigieusement multiplié dans les mers de la fin du Crétacé. Le nom de variété leur conviendrait bien, s'il ne s'agissait que de modifications locales. Mais entre les diverses formes d'*Echinocorys*, il y a quelque chose de plus, une sorte de spécialisation vague de caractères d'une certaine importance, comme ceux tirés, non seulement de la forme générale, souvent si différente, mais encore de la disposition des assules et des pores. Cependant, toujours quelques individus se séparent de leurs voisins, rappellent l'ancêtre, annoncent un dérivé, ou rattachent une forme à l'autre, avertissant le paléontologiste que le lien d'étroite parenté qui les unit tous n'a pas encore été rompu. L'espèce en voie de formation n'est pas née, attendant peut-être pour se manifester qu'un phénomène géologique ait amené une séparation définitive des races.

Dans ces conditions, ne distinguer au milieu de cette diversité des races que l'unité de l'espèce est un système commode qui dispense d'aborder un des problèmes les plus délicats fournis par l'étude des

Digitized by Google

Échinides. Transformer les races en espèces, sans tenir compte de la masse des individus dissidents, c'est, d'autre part, fausser les rapports des êtres, faire une œuvre vaine, trop contraire à la nature des choses pour pouvoir être d'une application pratique. Il m'a paru préférable et plus utile pour les géologues de chercher à reconnaître les diverses formes sans les enchaîner dans des limites irréalisables, d'en étudier les caractères, la permanence et l'âge relatif, et d'en indiquer les rapports probables de filiation. J'ai pensé pouvoir ainsi rendre à la géologie un service qu'elle est en droit d'attendre de fossiles aussi abondamment distribués, depuis le Turonien jusqu'au début de l'ère tertiaire, et fournir à la zoologie des documents utiles à la solution du grand problème de la genèse de l'espèce. Sans doute, comme le disait récemment un des maîtres de la paléontologie : « La nature est simple, » le nombre des types est borné ; une multitude de formes différentes » en apparence, sont une seule et même forme qui a subi peu à peu » des changements à travers l'immensité des âges (1). » Mais la démonstration d'une telle proposition ne peut résulter que de l'étude patiente et détaillée d'un nombre énorme d'individus et de la constatation de ces changements successifs invoqués par la doctrine de l'évolution.

Dans les descriptions qui suivent, j'attache une certaine importance à la largeur proportionnelle des ambulacres. Il est bon d'indiquer que j'appelle large toute aire ambulacraire (II par préférence) qui, mesurée au point où les pores commencent à occuper le centre des plaques, présente plus des deux tiers de la largeur de l'aire interambulacraire voisine (2 par préférence).

Il est intéressant de faire remarquer que les *Echinocorys*, universellement considérés comme adètes, présentent en réalité les rudiments d'un fasciole périanal. Ce fasciole diffus, plus ou moins apparent suivant les individus, offre beaucoup d'analogie avec celui observé chez l'espèce abyssale vivante *Urechinus Narresi*, tantôt adète (*Voyage of Challenger*, pl. XXX*a*, fig. 2 et 9), tantôt prymnodesme (*ibid.*, fig. 10). Cette observation vient confirmer celle que j'ai déjà formulée, à savoir que dans la famille ancienne (crétacée) des *Ananchitidæ*, le fasciole n'a pas l'importance taxonomique qu'il a acquise plus tard chez les vrais *Spatangidæ*.

(1) GAUDRY, *Essai de paléontologie philosophique*, p. 157, 1896.

Digitized by Google

Echinocorys vulgaris, variété **ovata** Leske.
(*Echinocorytes ovatus* Leske, 1778.)

(*Voir pl. V, fig. 15 et 16.*)

Le type figuré par Leske (pl. 53, fig. 3) était de Goslar (Saxe) et paraît identique à ce que Melle avait figuré dès 1718 sous le nom vague de *Echinites galeati vel pileati,* provenant de la craie du Holstein. C'est le *Galea spec. II, a Wagrica* de Klein, auquel Lamarck a conservé le nom d'(*Ananchytes*) *ovata*, tout en lui réunissant une variété assez différente de la craie de Meudon. Cette forme se retrouve dans la craie de Haldem (Westphalie) et dans celle de Coesfeld, qui a fourni à Goldfuss le type de ses figures 1 (*Petref. Germ.*, pl. 44). Quenstedt, qui a bien montré, dans la figure 53 de sa planche 84 (*Die Echin.*), combien le péristome est éloigné du bord, l'indique aussi dans le *Pläner de Lemförde*. Elle est remarquable par sa grande taille, son test épais, ses assules à sutures ordinairement distinctes (1), sa face inférieure plane et large, sa face supérieure renflée et subconique, toujours nettement carénée en arrière, son péristome éloigné du bord et ses ambulacres longs et larges, avec pores nettement allongés. On retrouve ce type à Ciply, où il est rare et ordinairement mal conservé dans la craie phosphatée. L'un d'eux, de la collection de l'École des mines de Paris, est le type du moule en plâtre V. 38 et, confondu avec l'*Ananchytes sulcatus,* il a reçu le nom de variété *limbata*.

Mais parfois la taille diminue et l'on arrive à certaines formes surbaissées qui se rencontrent assez fréquemment à Ciply; en même temps, la carène postérieure s'atténue, même à l'ambitus, et fait place vers l'apex à un léger sillon. Il est pratiquement bien difficile de séparer cette forme de la variété surbaissée à base large de Meudon et du Cotentin, dont les bords sont cependant moins arrondis, le péristome un peu plus près du bord et la partie subpétaloïde des ambulacres moins longue, composés de pores moins serrés, moins allongés, moins nettement conjugués. Il semble que la variété surbaissée de Meudon dérive à la fois de la forme subconique du Sénonais et de la variété *meudonensis*, tandis que la forme surbaissée de Ciply dériverait de la

(1) Cette particularité a fait parfois confondre l'*ovata* avec l'*Ananchytes sulcatus* Goldfuss, cependant bien différent par sa forme et ses ambulacres à pores arrondis. Trois individus de Ciply, conservés à l'École des mines, portent la mention *A. sulcatus,* à laquelle on a ajouté variété *limbata* Goldfuss, bien que l'auteur allemand n'ait pas créé de var. *limbata*.

Digitized by Google

variété subconique et de la variété *ovata*. C'est du moins dans le sens de cette hypothèse que semblent se grouper les caractères des deux formes.

La variété surbaissée de Ciply paraît devoir être rapprochée de ce que Quenstedt a figuré sous le nom d'*Ananchytes ovatus*, à la figure 2, planche 85 du *Die Echiniden*. On la recueille à la fois dans la craie de Spiennes et dans la craie phosphatée.

Enfin j'ai sous les yeux quelques individus (huit) des mêmes gisements, remarquables par leur forme hémisphérique, un peu déclive en arrière; base plane, à bords arrondis; carène postérieure très atténuée; ambulacres très larges, l'impair un peu moins développé que les autres, tous longs, à sommet obtus et composés de pores elliptiques, conjugués; péristome assez éloigné du bord; apex très allongé, un peu bossué. Cette forme ne se rattache avec certitude à aucune des variétés connues, bien que je la considère, au moins provisoirement, comme une sous-variété de la forme précédente. Il m'a paru intéressant d'en donner une figure.

Explication des figures. — Planche V, figure 15, *Echinocorys vulgaris* variété dite *Ciplyensis*, hémisphérique, surbaissée, à larges ambulacres, de la craie de Spiennes (Musée de Bruxelles), vue de profil; figure 16, la même vue au-dessus.

Echinocorys vulgaris, variété **conica** Agassiz

(*Ananchytes conica* Agassiz, 1840).

C'est la seule forme de la craie de Ciply qui soit aujourd'hui réellement bien connue, ayant été parfaitement figurée par Bayle dans ses *Fossiles principaux des terrains* (pl. 154, fig. 1, 2). L'original est à l'École des mines de Paris; il paraît provenir de la craie de Spiennes.

Echinocorys de moyenne taille, régulièrement conique, à sommet pointu, très épais, base large à bords arrondis, apex central, étroit, saillant; ambulacres peu larges, aigus au sommet, à partie pétaloïde longue (vingt-six paires de pores), composés d'assules assez hautes avec pores ovales, assez rapprochés. Il convient d'ailleurs de remarquer que l'individu figuré par Bayle s'éloigne du type moyen par sa forme plus haute, à sommet plus conique. On doit rattacher encore à ce type moyen certains individus de grande taille, un peu plus surbaissés, que l'on rencontre dans les mêmes couches, c'est-à-dire dans la craie de Spiennes et dans la craie phosphatée de Ciply.

Digitized by Google

La variété *conica* type a été citée à Meudon, où je ne l'ai pas rencontrée; elle est bien connue de Ciply et j'en ai sous les yeux plusieurs bons individus : un petit d'Harmignies (craie d'Obourg), plusieurs de Spiennes et un de la craie phosphatée.

Il existe dans la craie plusieurs *Echinocorys* de forme conique à des niveaux inférieurs : les uns se rattachent à l'*Ananchytes carinata* Defrance et diffèrent de l'*A. conica* Agassiz par leur carène postérieure plus saillante près du sommet, leur base très plane, à bords anguleux, et leurs tubercules plus développés; les autres, de la craie à *Actinocamax quadratus* du Sénonais, se distinguent par leur forme moins régulièrement conique, à sommet subconvexe, obliquement déclive en arrière, l'absence de carène au voisinage de l'apex, leurs ambulacres plus étroits, à pores bien plus serrés, toujours arrondis. Après les avoir confondus avec les variétés *conoïdea* et *conica*, je les distingue aujourd'hui sous le nom de variété *subconica*. Cette variété, dont Cotteau a représenté un bel individu du type moyen (*Échin. foss. de l'Yonne*, II, pl. 81, fig. 1), est très répandue dans la craie de l'Yonne, particulièrement à Michery; mais je la connais également de la craie du Kent, de Swanowice (Pologne) et de Meudon.

Echinocorys belgicus Lambert, 1897.

(*Voir pl. IV, fig. 9 et 10.*)

J'ai sous les yeux quelques individus de la craie phosphatée de Ciply qui présentent la forme générale de l'*E. semiglobus* Cotteau, sans pouvoir être confondus avec cette espèce :

Echinocorys clypéiforme, ovale, à base très large, subconcave, peu élevé et subconique au-dessus; assules bombées, à sutures très apparentes; apex central, bossué; péristome enfoncé, éloigné du bord; large périprocte, à l'extrémité d'une saillie apparente du plastron; ambulacres assez larges, longs, aigus au sommet, composés de petits pores allongés, en circonflexe, profondément conjugués, assez serrés.

Cette espèce est évidemment très différente de l'*Ananchytes sulcata* Goldfuss, de la craie de Maestricht (*Petref. Germ.*, pl. 45, fig. 1 *a*, *b*, *c*), signalée aussi par Quenstedt dans celle de Satow. Elle paraît en revanche identique au moule siliceux de la craie d'Aix-la-Chapelle, figuré aussi par Goldfuss (*ibid.*, fig. *d*, *e*), mais évidemment confondu à tort avec le type de son *A. sulcata*. L'individu figuré de Ciply est seulement beaucoup plus grand et mieux caractérisé que le moule d'Aix-la-Chapelle.

Digitized by Google

Si sa forme générale rapproche un peu cette espèce de l'*Echinocorys semiglobus* Cotteau; elle en diffère à première vue par sa taille, ses bords moins arrondis, ses assules bombées, ses ambulacres plus larges, plus longs, avec pores conjugués, en circonflexe (1).

M. Arnaud a désigné sous le nom d'*Echinocorys pyramidalis*, espèce non publiée, une forme voisine des couches daniennes de Bedat; d'après mes souvenirs, elle aurait ses ambulacres plus étroits, avec pores simplement elliptiques, non en circonflexe, une forme générale plus haute et plus épaisse.

Explication des figures. — Planche IV, figure 9, *Echinocorys belgicus* vu de profil (Musée de Bruxelles); figure 10, le même vu au-dessus.

Echinocorys Arnaudi Seunes, 1888.

(Voir pl. III, fig. 7 et 8.)

Synonymie : *Echinocorys regularis* Arnaud : *Bull. Soc. géol. de France*, 3e série, t. XV, p. 19, 1886 (ni décrit ni figuré).

Un individu de la craie phosphatée de Ciply me paraît se rapporter assez exactement à cette forme, remarquable par la hauteur de ses plaques interambulacraires, l'irrégularité de ses pores et la largeur de ses ambulacres. Le type est légèrement subconique au-dessus, mais on trouve aussi à Angoumé des individus presque régulièrement hémisphériques. Telle est la forme de celui de Ciply dont les ambulacres sont encore plus larges, puisque leur largeur est égale à celle des aires interradiales, ce qui ne se voit chez aucun autre *Echinocorys;* les pores de cet individu sont encore plus irréguliers, mais les autres caractères, notamment la dépression péristomienne, sont identiques, et il me paraît préférable de ne pas séparer l'échantillon unique de Ciply de ceux des Pyrénées.

Au premier abord, cet individu de Ciply, avec ses assules légèrement convexes, ressemble au type de l'*Ananchytes sulcatus* Goldfuss, mais il en diffère absolument par les caractères de ses ambulacres. L'*Ananchytes conoïdeus* Goldfuss (*Petref. Germ.*, p. 146, pl. 44, fig. 2) est encore une espèce à pores irrégulièrement espacés, du moins si j'en

(1) L'*Ananchytes semiglobus*, établi par Lamarck pour l'*Echinocorytes minor* de Leske (*Addit.*, p. 181, pl. 16, fig. C, D), reproduit dans l'*Encyclopédie* (pl. 155, fig. 2, 3), tombe en synonymie du *Galeola papillosa* Klein et n'a aucun rapport avec l'espèce de Cotteau.

Digitized by Google

juge par un individu de Maestricht conservé à l'École des mines et étiqueté *Ananchytes crassissima* Agassiz (1); mais, d'après le texte et les figures de Goldfuss, le type de la craie d'Aubel (Limbourg) est de forme plus haute; ses pores sont moins irréguliers, ses ambulacres beaucoup moins larges.

Explication des figures. — Planche III, figure 7, *Echinocorys Arnaudi* de Ciply (Musée de Bruxelles) vu de profil; figure 8, le même vu au-dessus.

Micraster ciplyensis Schlüter, 1897.

(*Voir pl. II, fig. 1 et 2.*)

Je n'ai malheureusement à ma disposition qu'un test et deux moules siliceux de *Micraster* de la craie de Spiennes et un moule de la craie supérieure de Ciply (Danien, d'après M. Peron). Tous appartiennent à la forme gibbeuse, dont les espèces étaient naguère généralement confondues sous le nom d'*Epiaster gibbus*. Cotteau signalait déjà cette forme dans la craie d'Obourg, où on l'avait rencontrée avec le *Micraster Brongniarti*, variété *pseudoglyphus* (2). Il la déclarait de tous points identique à celle de La Palarea, près Nice, et comme elle dépourvue de fasciole, il assimilait en même temps l'espèce du Hainaut à celle de La Faloise, Châlons-sur-Marne, Witkowice et Holtwick.

Malheureusement la question n'est pas aussi simple, puisque le vrai *Micraster gibbus* de La Palarea est pourvu d'un fasciole distinct, tandis que l'individu de la craie de Spiennes en est réellement dépourvue; il n'y a donc pas identité entre eux. J'ai fait des individus de La Faloise, Châlons-sur-Marne, etc., le *Mic. senonensis* et celui de Witkowice est devenu entre les mains de M. Gauthier le *Mic. fastigatus*. C'est une espèce fasciolée, voisine du type de Nice, mais évidemment différente de celle de Spiennes. Cette dernière diffère de mon *Mic. senonensis* par son sillon antérieur plus étroit et bien plus profond, par son péristome beaucoup plus marginal et son périprocte situé plus haut. L'espèce de Ciply est donc différente de celles du même groupe actuellement connues en France; je ne vois, d'autre part, parmi les espèces

(1) Le type du *A. crassissima* est un individu de la craie du Cotentin, mal conservé, un peu plus petit que le *A. conoïdeus* Goldfuss, mais de même forme et à ambulacres semblables; son test est d'épaisseur médiocre. Il est connu surtout par son moule P. 93. L'espèce d'Agassiz tombe évidemment en synonymie de celle de Goldfuss.

(2) Si l'on veut élever cette variété au rang d'espèce, on devra lui donner le nom de *Mic. Haasi* Stolley, 1891, plus ancien que celui de *pseudoglyphus* de Grossouvre, 1893. Voir Stolley, *Die Kreide Schleswig-Holsteins*, p. 257, pl. VIII, fig. 3.

Digitized by Google

allemandes adètes et gibbeuses, aucune forme identique. L'*Epiaster* d'Holtwick figuré par M. Schlüter (*Foss. Echinod. des nordl. deuts.*, p. 237, pl. II, fig. 1, 1869) en diffère par sa forme moins rostrée, moins rentrante en arrière, son sillon antérieur plus large et moins profond, son périprocte situé plus bas et surtout son péristome beaucoup moins excentrique, non marginal et à lèvre sternale bien moins saillante. Le petit *Micraster* gibbeux et adète (*Epiaster*) de Lunebourg (Westphalie), dont je dois un exemplaire à la libéralité de mon savant ami, M. de Loriol, est moins cordiforme, à peine échancré en avant par un rudiment de sillon antérieur; ses ambulacres sont plus superficiels, son périprocte moins haut, son péristome plus éloigné du bord. C'est une espèce que l'on ne saurait confondre ni avec celle de Ciply, ni avec celle de M. Schlüter, ni avec aucune des espèces françaises. Bien que trop incomplet pour pouvoir être figuré, l'individu avec test de la craie de Spiennes, rappelant certaines variétés de formes du *Mic. coranguinum*, s'en distingue non seulement par l'absence de fasciole, mais encore par son péristome tout à fait marginal et par la profondeur de son sillon antérieur.

On peut donner d'ailleurs de l'espèce belge la diagnose suivante : *Micraster* cordiforme, assez large, profondément échancré en avant, rétréci en arrière; face inférieure plane, face supérieure peu élevée, subconique, face postérieure verticalement tronquée; apex central; ambulacres pairs droits, assez longs, excavés, l'impair plus étroit et moins profond, mais composé de pores allongés, semblable aux autres; péristome marginal, s'ouvrant dans le sillon antérieur; périprocte médiocrement élevé, au sommet de la face postérieure.

J'avais décrit cette espèce sous le nom de *Micraster Peroni*, mais M. Schlüter vient de la figurer sous celui de *M. ciplyensis*, qui a la priorité. (Schlüter, *Ueber einige exocyclische Echiniden der Baltischen Kreide und deren Bett.* Abdruck a. d. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Gesellschaft, Jahrg. 1897, p. 19, pl. II, fig. 1, 2.)

Explication des figures. — Planche II, figure 1, *Micraster ciplyensis* de Ciply (Coll. Peron) vu au-dessus; figure 2, le même vu de profil.

CONSIDÉRATIONS STRATIGRAPHIQUES.

Les espèces que je viens d'examiner sont au nombre de vingt-huit, dont seize ont été rencontrées dans la craie phosphatée, ainsi que l'indique d'ailleurs le tableau suivant. De l'avis de tous les géologues qui

Digitized by Google

se sont occupés de la stratigraphie de la craie du Hainaut, cette craie phosphatée doit être considérée comme une simple modification lithologique de la craie de Spiennes et ne forme avec elle qu'une assise unique, supérieure à la craie de Nouvelles à *Magas pumilus*, se plaçant au niveau du calcaire de Kunraad, plus récente par conséquent que les assises les plus élevées de la craie blanche du bassin de Paris. L'horizon de Meudon se synchronise en effet parfaitement avec la craie de Nouvelles, qui offre une puissance égale et à peu près les mêmes fossiles, tandis qu'entre la faune échinitique de Meudon et celle de Ciply on remarque des différences considérables. C'est à peine si l'on trouve trois ou quatre espèces communes, et encore ces espèces sont-elles peu significatives : un simple fragment de radiole, une variété du *Cardiaster granulosus*, le *Cardiaster Heberti*, d'ailleurs apparu dès la craie d'Obourg, et une forme équivalente, surbaissée de l'*Echinocorys vulgaris*. Mais aucune des espèces caractéristiques de Meudon : *Cyphosoma tiara*, *Offaster pilula*, *Echinocorys meudonensis*, *Micraster Brongniarti*, ne se retrouve dans la craie phosphatée de Ciply. La répartition même des genres imprime à chaque assise un caractère particulier : *Temnocidaris*, *Caratomus*, *Nucleopygus*, *Catopygus*, complètement inconnus à Meudon, mais qui se retrouvent dans le Maestrichtien, indiquent pour l'assise de Spiennes un âge plus récent.

Entre les deux couches successives de la craie phosphatée et du poudingue de la Malogne, les rapports d'espèces semblent au premier abord plus nombreux, puisque nous avons six espèces communes. En réalité, les deux faunes échinitiques sont au moins aussi différentes; le nombre élevé d'espèces antérieurement inconnues qui apparaissent dans le poudingue (quatorze) et celui des espèces qui s'éteignent avant son dépôt (six) trahissent une modification profonde de la faune et des conditions de sédimentation. Il n'en est pas moins très intéressant de constater dans la craie phosphatée l'apparition de certaines formes destinées à se perpétuer dans le Maestrichtien, comme *Cidaris Hardouini*, *Temnocidaris danica*, *Caratomus sulcatoradiatus*, *Nucleopygus coravium*, *Catopygus fenestratus*. Une espèce de l'assise de Spiennes paraît même remonter jusque dans le Montien, mais comme il s'agit d'un simple radiole, il n'y a pas lieu d'y attacher grande importance.

Les rapports de la craie de Ciply avec celle du Cotentin sont assez remarquables et s'établissent par *Temnocidaris danica*, *Salenidia Bonissenti*, *Nucleopygus coravium* et une sous-variété de l'*Echinocorys vulgaris*, qui se retrouve d'ailleurs à Meudon. Si l'on observe qu'en outre le calcaire à Baculites comprend *Rhynchopygus Marmini* et *Cassidulus*

Digitized by Google

lapiscancri du Maestrichtien, on en conclura au synchronisme à peu près exact des deux assises. Enfin, la seule espèce commune à la craie de Ciply et à celle des Pyrénées, *Echinocorys Arnaudi*, des couches supérieures à la grande carrière d'Angoumé, appartiendrait, d'après M. Arnaud, au Campanien supérieur, donc à un horizon à peu près synchronique avec celui de Ciply.

En résumé, l'étude des Échinides de la craie phosphatée conduit à placer la couche qui les renferme dans une assise plus récente que la craie de Meudon, plus ancienne que le tufeau de Maestricht et à peu près de même âge que le calcaire à Baculites du Cotentin. C'est la confirmation pure et simple des observations stratigraphiques.

N'ayant fait qu'une étude partielle des espèces du poudingue de la Malogne, je n'ai pas à prendre parti ici sur la question de l'âge du tuffeau de Maestricht et du poudingue qui lui sert de base, couches que mon savant ami, M. de Grossouvre, considère seulement comme un facies des couches supérieures de la craie (1). Il me suffit de déclarer que j'adopte complètement ici les divisions différentes admises par M. Rutot dans son récent travail sur le synchronisme des assises supérieures du crétacé dans le Limbourg, aux environs d'Aix-la-Chapelle et en Belgique (2). Je me permets de faire seulement une réserve toute théorique sur l'importance de l'étage maestrichtien, qui me paraît avoir plutôt la valeur d'un sous-étage et constituer simplement, avec le sous-étage campanien de M. de Grossouvre, la partie supérieure du Sénonien de d'Orbigny. Je suis de ceux, en effet, qui pensent que les idées modernes sur la notion de l'étage paléontologique, égal à l'existence de certains Céphalopodes privilégiés, ne sauraient motiver l'abandon des termes anciens, universellement adoptés pour la division des terrains secondaires et si heureusement choisis par d'Orbigny. Je comprends seulement l'emploi en sous-ordre de quelques termes plus modernes, comme ceux des étages-assises proposés par Dumont, Coquand, etc. (3).

(1) DE GROSSOUVRE, *Bull. Soc. géol. de France*, 3e série, t. XXV, pp. 57 et suiv. notamment p. 75, 1897.

(2) RUTOT, *Bull. Soc. belge de géol., de pal. et d'hydrol.*, t. VIII, p. 145, 1895.

(3) Pendant l'impression de ce Mémoire, M. le professeur Schlüter a fait paraître un très intéressant travail sur les *Échinides exocycles de la craie des bords de la Baltique*. Il y a décrit incidemment et fait figurer plusieurs espèces de la craie de Ciply : *Micraster ciplyensis* et son *Linthia spiennesensis* (*op. cit.*, p. 48, pl. II, fig. 5, 7). Cette dernière espèce, que je ne connais pas en nature, provient de la craie à *Belemnitella mucronata* de Spiennes; elle est de moyenne taille, subéquipétale, nettement sinuée en avant, à apex subcentral, ambulacres profonds et fascioles bien distincts. Il m'a paru intéressant de l'inscrire au tableau qui suit.

Digitized by Google

NOMS DES ESPÈCES.	ASSISES INFÉRIEURES DU HAINAUT.	CRAIE DE SPIENNES.	CRAIE PHOSPHATÉE.	POUDINGUE DE LA MALOGNE.	MONTIEN.	LOCALITÉS DIVERSES.
Cidaris serrata Desor	...	...	+	...	...	Meudon.
— *Hardouini* Desor	...	...	+	+	...	Maestricht.
— *montainvillensis* Lambert	...	...	+	...	+	(Calre pisolithique de Seine-et-Oise.)
— *Tombecki* Desor	...	...	...	...	+	(Calcaire pisolithique.)
Temnocidaris danica Desor	...	...	+	+	...	Maestricht, Faxöe, Fresville.
Macrodiadema ciplyensis Lambert	...	...	+			
Salenidia Bonissenti Cotteau	...	...	...	+	...	Fresville (Manche).
Salenia belgica Lambert	...	...	...	+		
Gauthieria Broecki Lambert	...	...	...	+		
Rachiosoma Grossouvrei Lambert	...	...	...	+		
Cyphosoma Corneti Cotteau	...	...	...	+		
— *inops* Lambert	...	...	+			
— *Rutoti* Lambert	...	...	+			
Pyrina Houzeaui Cotteau	...	...	...	+		
Caratomus sulcatoradiatus Goldfuss	+	...	+	...	...	Maestricht.
— *Rutoti* Lambert	...	...	...	+		
— *peltiformis* Wahlenberg	...	...	+	...	...	Bahlsberg (Suède).
Lychnidius scrobiculatus Goldfuss	...	...	...	+	...	Maestricht.
— *analis* Agassiz	...	...	...	+		
Nucleopygus coravium Defrance	...	...	+	+	...	Fresville.
Catopygus fenestratus Agassiz	...	+	+	+		
Cardiaster granulosus Goldfuss	...	+	+	+	...	Maestricht, Meudon, Norwich.
— *Heberti* Cotteau	+	...	+	...	...	Meudon.
Echinocorys vulgaris var. *ovata*	...	+	+	...	...	Haldem, Coesfeld (Holstein, Saxe).
— — var. *conica*	+	+	+			
— *belgicus* Lambert	...	...	+			
— *Arnaudi* Seunes	...	...	+	...	...	Angoumé.
Micraster ciplyensis Schlüter	...	+	...	+		
Linthia spiennesensis Schlüter	...	+				
	3	6	17	14	2	
		19				

Digitized by Google

NOTA.

Depuis l'impression des premières pages de cette note et la publication de ses *Échinides exocycles de la craie des bords de la Baltique*, M. le professeur Schlüter a bien voulu, avec la plus aimable obligeance, me transmettre de précieux et nouveaux renseignements sur le *Cidaris Forchhammeri* Desor. D'après lui, le type de Faxö, de l'Unter Senon, ne serait nullement un *Temnocidaris*, comme l'avait cru Cotteau. Il y aurait lieu en conséquence de rétablir dans la liste des *Échinides de la craie de Ciply* le *Cidaris Forchhammeri*, dont mon *Cidaris montainvillensis* ne représenterait que la variété à petits radioles, ornés de saillies spiniformes irrégulières. M. Schlüter me fait aussi observer que la citation d'Hisinger, relative à cette espèce, doit être rectifiée : Tab. 26, fig. 5.

Digitized by Google

DE LA

FORMATION DES CAVERNES

A PROPOS

DES EFFONDREMENTS D'EISLEBEN

NOTE DE M. OTTO LANG

RELATIVE A LA DISSERTATION DE M. A. FLAMACHE

SUR LA

FORMATION DES GROTTES ET DES VALLÉES SOUTERRAINES

publiée dans les *Mémoires* de la Société belge de géologie.

Mémoire présenté à la séance du 12 janvier 1897 et traduit du manuscrit original par M. Gust. Jottrand, ancien Président de la Société.

Planches VI et VII

I. Discussion des idées de M. Flamache.

La discussion des théories sur la formation des cavernes a été récemment remise à l'ordre du jour lors de la dissertation publiée par M. A. Flamache dans les *Mémoires*, tome IX, page 355.

Cette question, pour plus d'un lecteur, semblera peut-être épuisée, mais en fait le sujet est si intéressant qu'il peut attirer encore l'attention des chercheurs; des côtés nouveaux, jusqu'ici négligés, peuvent être mis en lumière et de nouveaux points de vue exigent des éclaircissements supplémentaires. Aussi les défenseurs de la théorie actuellement

Digitized by Google

dominante doivent savoir gré à M. Flamache, qui la combat, de leur avoir fourni l'occasion de l'exposer une fois de plus, et le fait qu'il a de divers côtés réveillé l'attention prouve, selon moi, non point la faiblesse du système généralement admis, mais l'intérêt qu'inspire encore sa remise en question.

Comme je suis du nombre des membres de la Société de géologie qui désirent prendre part au débat, mais comme j'arrive le dernier, je dois craindre que ceux qui m'ont précédé dans la réfutation des idées de M. Flamache : MM. Van den Broeck et Stainier, n'aient épuisé le sujet. Je serai donc très bref sur ce point. J'ai pu prendre connaissance des épreuves typographiques du beau travail de M. Van den Broeck, ce dont je le remercie vivement, et cette lecture a justifié mes craintes.

Il ne me reste vraiment que bien peu à dire pour compléter la réfutation du travail de M. Flamache, et encore se peut-il que M. Stainier, dont je ne connais pas le travail, l'ait dit avant moi ; mais je pourrai rattacher à ces brèves indications quelques observations sur les défectuosités de notre terminologie scientifique en matière de cavités dans les montagnes, et attirer ensuite l'attention sur diverses conséquences de la dissolution et du délavage chimique des roches, qui peuvent avoir une grande influence sur la prospérité des sociétés humaines.

En outre, j'aurai à adresser à M. Flamache, qui, selon moi, a été en certains points traité avec trop de sévérité par M. Van den Broeck, quelques paroles de consolation et même de reconnaissance. Cette reconnaissance lui est due notamment pour avoir signalé, dans son zèle ardent pour la vérité, non point à vrai dire des défauts, mais des vices d'exposition dans la théorie qu'il combat. Tout savant, dans son désir d'éviter les longueurs et de communiquer au plus vite ses idées, passe nécessairement sous silence beaucoup de détails qu'il croit découler naturellement de l'objet principal de sa démonstration, mais que d'autres apprécient différemment. De là des malentendus. Ce sont de pareils malentendus qui servent de base à ce que M. Flamache appelle sa critique inattaquable. Que cet honorable confrère se console d'ailleurs; il n'est pas seul à soutenir sa thèse : que la formation des cavernes est due exclusivement à l'érosion mécanique.

Le principe formulé par M. Dupont en ces termes : « la grotte est préexistante à la rivière », et qui domine actuellement dans la science géologique, n'est pas nouveau ; il a ses racines dans des notions très anciennes et s'est formé peu à peu par les contributions de nombreux observateurs. Mais il y a également nombre d'années qu'un géologue

Digitized by Google

allemand a, comme M. Flamache, essayé de présenter « l'eau courante » comme le facteur principal et la force maîtresse de la formation des cavernes. C'est J. Kloos qui, dans son intéressante description de la *Hermannshöhle,* près de Rübeland, dans le Harz (1), nous dit : « C'est l'eau courante qui est partout la cause originaire des cavités de cette espèce, que l'on n'observe pas dans tous les pays, mais qui, par leur étendue et leur fréquence, donnent à certaines régions un attrait particulier. »

Kloos reconnaît néanmoins qu'une circonstance difficile à concilier avec sa théorie, et que M. Flamache avoue également être pour lui tout à fait inexplicable, est que ces cavernes existent presque uniquement dans des roches chimiquement attaquables par l'eau et les solutions aqueuses d'acide carbonique. Les cavités rencontrées dans d'autres roches, que l'on ne peut attribuer à de larges fissures ou à des perturbations tectoniques, sont, Kloos le reconnaît, insignifiantes et de petites dimensions, et, même dans les masses éruptives que les intempéries cependant attaquent, elles manquent totalement, du moins sous forme de véritables cavernes.

Si, à raison de ce que la formation des cavernes est réservée aux roches sensibles aux influences chimiques, alors que l'érosion a pour atelier de son activité la surface tout entière de la terre, il est difficile d'attribuer à ce dernier agent le rôle principal dans cette formation, le manque de preuves positives de cette action augmente encore la difficulté. Les masses rocheuses arrondies sont presque les seules qui offrent la trace incontestable d'une érosion mécanique, mais il n'y est pas évident que l'érosion par l'eau a seule agi; le transport de fragments rocheux a contribué la plupart du temps à l'arrondissement. Mais des parois lisses et arrondies peuvent aussi résulter de la simple action des agents atmosphériques, témoins les blocs qui constituent les « mers de rochers », *Felsen-Meere,* que l'on rencontre en si grande abondance dans les régions granitiques, par exemple dans le Harz, au Broken ou Blocksberg; les blocs, semblables à des sacs de laine, qui les constituent, n'ont subi aucun déplacement notable, et le poli de leur surface passe à bon droit comme le résultat des intempéries, lesquelles agissent chimiquement et non mécaniquement. L'acide carbonique de l'atmosphère, la pluie et la neige sont là les agents, et si les fissures produites par la gelée leur ouvrent la voie, on

(1) J.-H. Kloos et Max Müller, *Die Hermannshöhle bei Rübeland.* Weimar, 1889, IV, p. 2.

Digitized by Google

remarque que les parois de ces fissures, quand elles viennent de s'ouvrir, ne sont point lisses, mais rugueuses. A qui croirait que la pluie battante amène l'arrondissement des blocs, on ferait remarquer que ceux-ci ont leurs angles et leurs coins rabattus aussi bien en dessous qu'au-dessus. Si l'eau glisse avec tant de facilité sur les surfaces des roches gypseuses quand elles sont déclives, c'est à la grande solubilité de ces roches qu'il faut l'attribuer.

Et les eaux provenant de la fonte des glaciers, qui emploient leur chaleur en excès à activer cette fonte même! Les canaux par où s'écoulent ces eaux ne sont-ils pas habituellement de forme arrondie? La voûte qui recouvre les ruisseaux coulant sous le glacier n'a bien certainement pas été formée par l'action mécanique de l'eau ou des pierres qu'elle roule; elle est uniquement le résultat de l'action dissolvante de l'eau.

Quelle est d'ailleurs la force mécanique d'érosion que possède l'eau considérée isolément? Nous sommes tous portés à considérer comme vrai et exact le principe empirique déjà admis par les Romains : *Gutta cavat lapidem*. Mais au point de vue scientifique, ce n'est point là une vérité bien établie, et l'attaque mécanique par de l'eau pure qui tomberait sur une roche dure et partout également cohérente, est très douteuse. Il serait d'ailleurs à peu près impossible d'établir l'expérience dans des conditions irréprochables, c'est-à-dire de faire tomber goutte à goutte de l'eau absolument pure dans un milieu où elle ne pourrait se charger d'aucun autre élément capable d'exercer une action chimique, c'est-à-dire dans le vide absolu, et cela sur la surface dépourvue de toute rugosité ou de différence de cohésion d'une espèce minérale insoluble, telle par exemple que la face principale de clivage d'un cristal de barytine sur laquelle la chute s'opérerait verticalement, mais de telle façon que l'accumulation de gouttelettes sur l'objet serait empêchée, afin de laisser à chacune des gouttelettes successives toute sa force mécanique.

Cependant, aussi longtemps qu'il ne sera pas scientifiquement établi qu'une goutte liquide, par conséquent sans rigidité, peut, par son poids, exercer sur la surface dure d'une roche uniformément cohérente, une action mécanique assez puissante, à force d'être répétée, pour créer un creux sensible, il est permis de mettre cette action en doute et de soutenir que l'action érosive mécanique n'est pas capable de créer des cavernes dans les roches dures. A elle seule, elle ne peut agir que sur les matières meubles, sans cohésion, ou à cohésion faible, telles que le gravier, le sable, la boue, c'est-à-dire surtout à la surface de la terre,

Digitized by Google

car les cavités souterraines qu'elle peut créer dans ces matières manquent, sauf des cas très rares, de stabilité, sont dès lors de courte durée et disparaissent promptement par affaissement des couches supérieures, comme le montrent les effondrements bien connus de Schneidemühl (Posnanie) et de Briansk (Russie), pour ne parler que des plus récents.

Pour éroder les roches dures cohérentes, l'eau, en réalité, a besoin d'instruments spéciaux, notamment de parcelles minérales ou rocheuses, qu'elle transporte avec elle, ou qu'elle trouve détachées aux lieux de son action. La puissance de ces instruments ne dépend pas seulement de leur nombre et de leur grosseur, mais encore de la force d'impulsion de l'eau, c'est-à-dire de sa vitesse et de sa masse. Outre la hauteur de chute, il faut prendre en considération la masse, la pression et aussi la forme sectionnelle de la colonne d'eau en mouvement.

Ce dernier élément est surtout important quand il s'agit d'érosion mécanique et d'élargissement de crevasses. Des diaclases ou des fissures de faible largeur ne se prêtent guère à l'action des instruments que l'eau pourrait mettre en mouvement pour les transformer en cavernes; c'est là que s'applique la formule : « La grotte est préexistante à la rivière ».

Si la théorie de la formation des cavernes par dissolution et délavage chimiques ne satisfait pas M. Flamache, je pense que la faute en est surtout aux malentendus qui sont réellement la base de sa critique dite inattaquable.

Ainsi, M. Flamache semble partir de l'idée qu'une unité donnée de surface prise dans un corps rocheux laisse pénétrer dans les couches intérieures sous-jacentes une quantité donnée d'eau uniforme, alors qu'en réalité les plus grandes divergences se produisent dans la même pierre, suivant les différences existant entre les joints de suintement que l'eau est obligée de suivre.

Les précipitations atmosphériques qui tombent à la surface des roches se répartissent bien, en général, d'une façon uniforme sur chacune des unités de surface, mais il n'en est plus de même des parties qui pénètrent dans le sol par infiltration. En effet, supposons les circonstances les plus favorables, quoique non réalisées dans la nature, c'est-à-dire une surface d'infiltration uniforme, horizontale et nue, fragmentée par des fissures verticales identiques, également espacées en tout sens; même dans ce cas, toutes les fissures ne donneront pas passage à la même quantité d'eau; celles qui sont soumises au soutirage laisseront s'écouler plus rapidement l'eau qui s'engage dans leur ouverture et dès lors en absorberont davantage. Ainsi, par exemple, si la surface

Digitized by Google

observée constitue un plateau élevé, les fissures situées sur les bords laisseront leurs eaux s'écouler plus rapidement que celles du centre, où la vitesse de translation sera ralentie par l'augmentation de longueur des canaux à parcourir pour arriver au point de décharge : d'où augmentation de frottement et de résistance.

Les fissures, en se vidant, exercent une action de succion sur les fissures voisines encore pleines avec lesquelles elles sont en communication, mais cette action n'est pas égale sur toutes : il en est de favorisées et qui ainsi se vident à leur tour avant les autres. L'opération terminée, la masse d'eau qui a passé par infiltration est bien égale à celle qui est tombée à la surface filtrante, mais il n'en est pas de même des diverses parties de cette surface; celles-ci participent au résultat final pour des tantièmes différents pour chacune d'elles, et qui dépendent de circonstances accidentelles, surtout du degré de remplissage des fissures voisines. En outre, quand la roche affectée est chimiquement attaquable par les eaux météoriques, aux différences de « débit » de chacune des fissures correspondent immédiatement des différences dans leur degré de modification et alors l'identité de forme et de grandeur supposée exister au début entre les diverses fissures, disparaît bientôt pour faire place aux plus grandes variations.

Nous avons dit que les conditions hypothétiques que nous venons d'examiner sont artificielles et n'existent pas dans la nature. En réalité, les fissures sont dès le début très diverses, comme espacement, forme, largeur, direction ou profondeur, et, de plus, elles sont recouvertes d'un manteau plus ou moins épais de détritus, produit de l'altération superficielle ou des forces éoliennes, inégalement répartis et qui retardent l'infiltration. Enfin, la surface n'est jamais uniformément plane, ses protubérances et ses dépressions y créent un ruissellement que le sol n'absorbe qu'à certaines places. Toutes ces circonstances soumettent les diverses fissures à des influences si diverses, quant à l'abondance et à la rapidité des eaux qui les parcourent, que M. Flamache, après les avoir méditées, y trouvera certainement la réponse à sa question : Pourquoi chaque fissure ne donne-t-elle pas naissance à une cavité ?

La puissance et la durée des réactions chimiques (c'est-à-dire, dans notre cas, une quantité dépendante de la rapidité de l'écoulement, mais qui variera constamment aux divers points du parcours et suivant la saison) déterminent ensemble l'intensité de l'action, c'est-à-dire l'étendue de la cavité due à l'érosion chimique. Si la durée de l'action se réduit par suite de l'augmentation de rapidité de l'écoulement, la

Digitized by Google

durée de la réaction s'accroît et la force conservée va s'exercer à de plus grandes profondeurs.

L'expérience poursuivie par M. Renard, et sur laquelle s'appuie M. Flamache, n'a réellement aucune importance dans la question qui nous occupe. Le tube vertical de 2 mètres de haut rempli de fragments de pierre calcaire mélangés à du sable a rendu, au bout de cinq jours, saturée de bicarbonate de chaux, l'eau acidulée qu'on y laissait tomber à raison d'une goutte par seconde. Cela ne surprendra personne. Après cinq jours de contact avec de la pierre calcaire, toute eau météorique aura perdu son acide carbonique libre, qu'elle agisse en masse ou goutte à goutte. L'application de ces données à un cas géologique donnerait ceci : La pluie qui tombe sur un massif calcaire n'augmentera le débit des sources situées à 50 mètres de la surface qu'après cent vingt-cinq jours, c'est-à-dire quatre mois; or, chacun sait que dans les régions calcaires les sources, souvent après quelques heures et toujours après peu de jours, ressentent l'influence d'une forte pluie et voient leur débit s'accroître.

M. Flamache donne encore plusieurs autres exemples de saturation en carbonate de chaux, après un faible parcours, d'eaux chargées d'acide carbonique, dont la réalité et l'importance sont incontestables. Mais c'est là enfoncer des portes ouvertes, car il n'est personne qui doute qu'une eau d'infiltration chargée d'acide carbonique à cours très lent ne se sature rapidement de carbonate, de même qu'elle le ferait si elle était en repos.

M. Flamache ajoute que la théorie du lavage exige, pour les cavernes, l'existence d'annexes se terminant en cul-de-sac, et qu'on n'en aurait pas encore observé de pareilles. Je me proposais de discuter l'argument à propos de la grotte de Han et de ne point parler des autres cas restés inconnus à l'auteur. Mais dans l'entretemps, M. Van den Broeck a établi le véritable état des choses, même pour les seules cavernes de Belgique. Il convient dès lors de montrer aussi le contingent de l'Allemagne en fait de cavernes à stalactites avec annexes en cul-de-sac.

Nous avions, par exemple, au Merzenberg, près de Gera, la caverne à légendes dite *kleine Zwerghöhle* (le petit trou des Nutons), que les travaux de carrières ont détruite, et dans laquelle, à côté d'une grande chambre de 25 mètres carrés de superficie, on voyait un cul-de-sac horizontal, d'environ 6 mètres de long et de 1 à 2 mètres de haut, et qui contenait en abondance des concrétions calcaires, alors que la

Digitized by Google

grande chambre n'en contenait qu'à certaines places et en petit nombre.

M. Flamache fait aussi remarquer que certains plafonds de cavernes, entre autres celui de la grande salle du Dôme de la grotte de Han, ne sont qu'à quelques mètres de distance de la surface du sol et cependant présentent déjà des stalactites.

Cette observation fait supposer que M. Flamache cherche non seulement à établir que la saturation de l'eau d'infiltration se produit après un petit parcours, mais encore à contredire l'idée que la cavité dans laquelle elle pénètre (la salle du Dôme) devrait son existence à l'ablation par dissolution. Évidemment, beaucoup seront portés par cette observation à douter de ce dernier point. Mais il ne faut pas oublier qu'aux effets du lavage sont venus se joindre les écroulements qui en ont été la suite. Les grandes salles ou chambres des cavernes doivent leur hauteur, non pas directement aux ablations par dissolution, mais aux ruptures et chutes de masses rocheuses dont ces ablations ont détruit la cohésion et la stabilité.

Partout les blocs de rochers entassés sur le sol des salles en fournissent la preuve. Il s'ensuit qu'il faut, comme l'a fait Kloos en divers endroits, distinguer dans les cavernes deux régions : celle qui est riche en stalactites et stalagmites, et qu'il appelle région d'incrustation, *Sinterregion*, et celle qu'il nomme région d'effondrement, *Bruchregion*, située plus avant dans la montagne, et où l'œil est surtout frappé des phénomènes souvent grandioses dus à la stabilité détruite.

Dans l'étude de l'origine des différences qui viennent d'être relevées, c'est-à-dire du phénomène de l'incrustation ou de l'abandon par l'eau suintante du carbonate de chaux qu'elle apporte, il ne faut pas négliger de tenir compte de l'effet des courants d'air asséchants, qui, en même temps que l'eau, enlèvent l'acide carbonique qu'elle contient. Dans la plupart des cavernes à stalactites, on voit la région d'incrustation parcourue par un courant d'air puissant ou ayant pu se trouver jadis dans ces conditions, tandis que la région d'effondrement est plus humide et moins ventilée. Cependant, comme je l'ai dit antérieurement (1), je suis porté à admettre que l'abandon par l'eau du carbonate de chaux qu'elle tient en dissolution, peut aussi provenir du changement de la pression capillaire.

(1) Voir *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 1881, pp. 255-264.

Digitized by Google

Ces efforts et d'autres du même genre, pour arriver à une terminologie scientifique dans la question de l'origine des cavernes, doivent être salués avec joie. Mais ils doivent être poussés plus loin encore, et c'est pour cela que je crois nécessaire d'attirer spécialement l'attention sur les cavernes dont le développement est surtout en hauteur. Je veux parler des « cheminées » ou « cloches » (*Schlotten*).

Leur extension suivant la verticale, même là où elles se soutiennent encore, c'est-à-dire où elles sont encore fermées du dessus, ne peut être attribuée qu'à des écroulements successifs de leur plafond. Je sais bien que d'autres naturalistes et de grande autorité, tels par exemple que F. Zirkel, qui a eu connaissance de mon opinion par un rapport sur une expertise minière, n'admettent pas cette manière de voir.

Je suis bien loin de nier l'existence de cavernes formées sans écroulement et par seule dissolution dans le sens vertical; seulement les véritables cheminées ont exigé pour se former le concours de fractures et d'effondrements, d'abord parce que, pour la plupart, elles se terminent au-dessus en forme de voûte ou de cloche, ce qu'on a cherché à expliquer par l'arrivée de l'eau, d'en haut, en forme de douche; ensuite parce qu'il n'y a pas une seule cheminée où fasse défaut le tas créé par les débris de roches effondrées, qui prouve l'écroulement de la voûte. La masse de ce tas, qui par suite du dispositif irrégulier de ses éléments constitutifs pourrait remplir la cavité et la consolider, est continuellement corrodée et réduite par l'eau qui pénètre dans la caverne et y séjourne; c'est ce qui se produit directement dans les roches salines ou gypseuses, et indirectement dans les roches calcaires grâce à l'acide carbonique joint à l'eau; mais ce n'est là qu'un mode très détourné de création des cavernes par lavage.

Tous ces motifs m'amènent à proposer à mes confrères en géologie de réserver le nom de *Schlotte* (« cheminée » ou « cloche ») aux cavités d'extension verticale et produites par effondrement de leur calotte, et de désigner par un autre nom, *Schacht*, « puits », par exemple, les cavités dues uniquement à la corrosion chimique.

L'exposé de la théorie de l'ablation par dissolution m'amène finalement à traiter une autre face de la question, celle des perturbations que, dans certaines circonstances, ce phénomène peut amener dans la stabilité de régions très étendues, et des désastres économiques d'une importance énorme dont il peut ainsi être cause. Il s'agit alors de bien autre chose que de cavités isolées ou de galeries à dimensions limitées et qui, tout au plus, peuvent avoir été la cause originaire de bassins et de vallées.

Digitized by Google

II. Les mouvements du sol a Eisleben.

Exposé des faits.

Quiconque visite aujourd'hui Eisleben, ville de 23,000 habitants, célèbre par son rôle dans l'histoire de la Réforme, est stupéfait de voir presque la moitié de ses édifices lézardés ou fraîchement réparés, des murs hors d'aplomb et des baies de portes et de fenêtres étançonnées et renforcées par des traverses. Parmi ces hautes bâtisses, devenues dangereuses, il en est certes plus d'une dont le délabrement est dû au grand âge, mais, par contre, il y a des rangées entières de maisons à deux et trois étages, bâties depuis moins de dix ans, et dont la stabilité est à ce point compromise que quelques-unes ont dû être abandonnées et que les autres n'ont pu rester habitées qu'à la condition d'assurer un départ rapide à leurs occupants en cas d'imminence de danger. Les crevasses des murailles affectent, dans des séries entières de maisons, des directions parallèles, et ce sont surtout les angles des blocs de bâtisses qui semblent avoir cédé à la pression et s'être affaissés; mais si l'on cherche à appliquer le système que Mallet a mis en œuvre à l'occasion du grand tremblement de terre de la Calabre pour déterminer le point d'origine par la direction des lézardes des maisons, on ne trouve aucun point qui soit le centre des forces dommageables. Évidemment, diverses causes concomitantes ont agi. La circonstance que les dégâts les plus grands ne sont point concentrés en une seule région, mais se montrent à la fois dans la *Zeisingstrasse*, sur le *Rammberg* et la *Rammthorstrasse* (points qu'indique la planche VI jointe à cette note), rend fort difficile la détermination d'une cause unique et même seulement prédominante du mal.

Les dégâts se sont toujours manifestés à la suite d'ébranlements du sol, que plusieurs observateurs ont décrits comme semblables à des secousses de tremblement de terre. Mais le peu d'extension horizontale de la région ébranlée ne permettait pas de songer à des secousses amenées par un tremblement de terre *abysso-dynamique*, tel que ceux qui créent les chaînes de montagnes, ou bien d'origine volcanique. Ce n'était pas d'ailleurs une secousse unique qui disloquait les édifices, mais une série de secousses, différentes de force, sans périodicité régulière, et affectant tantôt un point, tantôt un autre. Les premières s'étaient produites à l'automne de 1892; elles devinrent de plus en plus

Digitized by Google

fréquentes de décembre 1893 à janvier 1896. Le sol lui-même s'affaissa par places, et des crevasses plus ou moins étendues s'y produisirent. L'affaissement le plus considérable se montra dans le milieu de la partie septentrionale de la *Zeisingstrasse*, où s'étaient concentrés, comme de juste, les dégâts de bâtisses les plus graves; en juin 1896, on l'évalua à 2 mètres en profondeur; la crevasse la plus large, marquée VI dans la planche VI, atteignit 3 décimètres de large et 300 mètres de long.

Dès les premiers mouvements du sol un peu graves, on se mit avec ardeur à en rechercher la cause, non seulement pour fixer les responsabilités, mais encore pour savoir ce que l'avenir réservait à la ville.

Les gens compétents furent d'avis bien divers. Tandis qu'une autorité en géologie inclinait à attribuer le mal à la formation de failles dans les bancs sous-jacents du *Zechstein* et du grès bigarré, conséquence de l'activité continue du processus qui forme les montagnes et qui doit de temps à autre rouvrir d'anciennes crevasses, d'autres recherchaient des causes plus voisines de la surface. Il est en effet incontestable que ces causes ont contribué au mal et qu'il faut relever toutes les circonstances superficielles, pour apprécier sainement chacun des cas à résoudre.

Le sous-sol d'Eisleben est en général constitué par l'étage inférieur du grès bigarré *(Buntsandstein)*, qui y atteint une épaisseur de 200 mètres environ; ces roches sont principalement de nature argileuse, les fentes qui s'y produisent sont par suite rapidement fermées par compression et restent impénétrables à l'eau.

Néanmoins, la plus grande partie de la ville d'Eisleben ne repose pas immédiatement sur les couches de grès bigarré, mais bien sur un manteau de faible épaisseur, constitué par des graviers diluviens et sous lequel, tant dans la ville qu'au dehors, gisent des dépôts lacustres, tels que : argile plastique (*Kapselthon*, argile à creusets), grès quartzeux (*Knollenstein*), sable quartzeux de la formation des lignites. C'est ainsi que dans la *Zeisingstrasse*, des puits de recherches et des sondages ont rencontré des couches alternantes d'argile, de sable, de gravier et de cailloux roulés, d'épaisseur respective fort variable, mais atteignant ensemble jusqu'à 10 mètres.

C'est dans ce sol que la petite rivière qui traverse Eisleben, la *Böse Sieben*, a creusé son lit, à environ 10 mètres de profondeur, avec des rives très escarpées dans les 5 mètres inférieurs. C'est là, certes, une cause de danger pour les bâtisses qui l'avoisinent; aussi était-il déjà arrivé, il y a quelques années, qu'une partie du terrain sur lequel s'élève l'habitation d'un géomètre au Rammberg, avait glissé vers le bas;

Digitized by Google

depuis la maison elle-même s'est lézardée au point de devenir inhabitable.

Comme le lit profondément encaissé de la rivière imprime une grande rapidité au cours des eaux souterraines qui y aboutissent, aussi bien à celles qui, séparées de l'atmosphère par des dépôts perméables, constituent la nappe phréatique, qu'à celles qui se meuvent plus profondément dans les sables et les graviers lacustres, ces eaux peuvent entraîner avec elles des matières meubles, et il était indispensable de rechercher et de prendre en considération leur distribution, car des dépôts stratifiés ne peuvent être emportés sans qu'il s'ensuive un tassement de la surface du sol chargée de bâtisses.

Ces considérations amènent M. Leuschner, conseiller intime des mines et directeur de l'exploitation des schistes cuprifères de Mansfeld, qui s'est fait un nom par ses efforts pour relever le prix de l'argent, à continuer à soutenir que les dégâts survenus sont uniquement dus aux mauvaises conditions du sol sur lequel on a bâti et au mouvement des eaux souterraines; il a du reste, dit-il, connu la *Zeisingstrasse* à l'état de marécage dans lequel on venait déverser les décombres.

En outre, un changement dans le régime des eaux souterraines était survenu à la suite de fuites dans les conduites d'eau, soit anciennes, soit nouvelles, de la création de plusieurs rues et de la transformation du lit tout entier de la *Böse Sieben* en un aqueduc maçonné étanche. L'architecte Henoch, dans son rapport d'expertise, examina et pesa toutes ces circonstances de la surface, mais n'y put trouver la cause principale du mal et conclut en conséquence à l'admission d'un foyer d'ébranlement caché dans les couches profondes du sous-sol.

Depuis l'origine, on avait incliné à le chercher dans l'effondrement de quelque grande caverne des roches gypseuses. Le gypse et l'anhydrite se rencontrent en effet en grandes masses dans la région d'Eisleben. A la vérité, l'étage du grès bigarré ne contient que quelques lentilles de gypse, éparses et de peu de puissance, mais le *Zechstein*, sur lequel il repose, a plus de la moitié de ses couches constitutives composées de roches calcaires sulfatées, notamment d'anhydrite, que l'action de l'eau transforme fréquemment en gypse. Les travaux miniers rencontrent souvent dans l'étage du *Zechstein* des cavernes non éboulées en forme de cheminée, qui se suivent comme un chapelet le long des joints de stratification, et dont un spécimen, connu depuis plus de cent ans, est la série de cavernes de Wimmelburg, existant à plus de 100 mètres de profondeur et depuis un siècle fréquemment visitée par les touristes; ces cavernes ont même été utilisées pour l'évacuation des eaux des

Digitized by Google

mines; partout où le *Zechstein* affleure, les cavernes effondrées et les entonnoirs ou aiguigeois sont fréquents.

Il faut mentionner ici que beaucoup de gens du métier ne regardent pas les cavernes du gypse comme produites par la corrosion du gypse lui-même, mais bien par celle des amas de sel que le gypse contenait; absolument comme on pourrait prétendre que les cavernes à stalactites ont été jadis remplies de masses gypseuses ou d'autres roches jouant au sein du calcaire le rôle de corps étrangers. Un seul cas m'est connu où cette théorie serait admissible, mais ce n'est pas le chapelet de cavernes de Wimmelburg: celui-ci doit évidemment son existence à une série de fissures; on n'y trouve aucune trace d'un banc de sel disparu; la forme des cavités ne se prête pas à cette supposition et les roches voisines ne sont nullement salines.

Partout où l'on observe des effondrements de cavernes d'origine gypseuse, les masses de gypse disparues par dissolution se trouvaient à une faible profondeur, et les masses qui les recouvraient n'ont point suffi, malgré l'entassement irrégulier de leurs débris, à remplir la cavité créée par la dilution du gypse. A Eisleben, au contraire, une cavité gypseuse souterraine éventuelle ne pouvait se trouver qu'au-dessous d'une couverture de roches compactes de plus de 200 mètres de puissance. Un écroulement de caverne gypseuse ne pourrait donc réagir sur les conditions de la surface, à moins de mesurer 160 mètres de hauteur. Indépendamment de cette hauteur invraisemblable, il faudrait supposer des dimensions horizontales de la cavité telles qu'elles ne se sont presque jamais rencontrées, pour expliquer l'étendue à la surface de la région sinistrée. En effet, si, comme nous l'avons déjà fait observer, l'aire de cette région est faible, comparée à ce qu'elle est quand il s'agit des tremblements de terre, elle est énorme, ainsi que le montrent les planches annexées à ce travail, comparée aux effondrements connus jusqu'ici comme étant la conséquence de l'écrasement de cavernes gypseuses. On sait que l'angle d'un « talus naturel » dépend de la structure et de la solidité de la roche constitutive. On a supposé que l'effondrement de cavités souterraines entraine dans les couches surplombantes, non seulement des mouvements verticaux, mais également latéraux. La détermination de la distance à laquelle ces mouvements latéraux peuvent se propager dépend, a-t-on pensé, de l'angle de fracture, qui varie suivant la résistance et aussi suivant la nature des roches.

Mais de telles considérations, appliquées à la disproportion d'aires ci-dessus indiquées, n'ont guère pu expliquer les faits constatés.

Digitized by Google

Tout cela montre que la question de la cause déterminante des affaissements dommageables ne concerne pas seulement la nature, autrement dit la qualité de cette cause, mais aussi son étendue, c'est-à-dire sa quantité.

La théorie de l'écrasement de cavernes, légèrement modifiée dans quelques détails, fit néanmoins son chemin dans certains cercles, et grâce à deux circonstances accessoires qu'il convient d'indiquer.

D'abord cette théorie indiquait comme responsable des dégâts un débiteur solvable, car il ne s'agissait plus d'un simple processus naturel, fonctionnant sans le concours de l'homme. Quand de pareils dommages se produisent, il est d'usage, Dieu merci, dans les pays civilisés, que le public intervienne, soit par des subsides de l'État, soit par des collectes, soit par des loteries autorisées, afin d'indemniser les victimes, soit en tout, soit en partie. Mais en Prusse cela est cependant difficile, surtout lorsque, comme dans notre cas, il n'est pas certain qu'il s'agisse exclusivement d'un cas de force majeure. S'il y a possibilité de trouver comme auteur responsable une personne réelle ou juridique, dont la situation de fortune est telle qu'elle puisse tout supporter, le cas devient beaucoup plus simple. Ici ce fut à la société qui exploitait les schistes cuprifères de Mansfeld qu'on s'en prit, et de nombreux procès en indemnité s'abattirent sur elle. Au début de ceux-ci, il s'agissait surtout de créer un précédent en la matière. Dans l'opinion des demandeurs, la défenderesse allait s'empresser de reconnaître leur bon droit, car l'année précédente la Société avait, après arbitrage, affecté 500,000 marcs à l'indemnisation de propriétaires d'édifices endommagés, en mettant toutefois comme condition qu'il ne s'ensuivrait pas la reconnaissance qu'elle fût responsable en principe et pour tous les dommages qui pourraient encore survenir.

Une autre circonstance spéciale qui attirait sur ces procès l'attention des profanes, c'est la part considérable qu'y prenait un conseiller des mines, le baron de Morsey-Picard, qui, pendant de longues années, avait eu l'inspection officielle du district de Mansfeld-Eisleben et avait, disait-on, prédit les accidents survenus depuis.

La loi arme les officiers royaux chargés de la surveillance des mines d'un pouvoir tel que pas un coup de pioche ne peut être donné, pas un trou de mine ne peut être foré dans les galeries sans leur consentement. Comment était-il possible dès lors, faisait-on observer, que cet ingénieur n'eût pas arrêté à temps des travaux dangereux, ou du moins prescrit l'emploi de moyens propres à les rendre inoffensifs? La question ne fit que gagner en importance quand on vit M. de Morsey-

Digitized by Google

Picard donner sa démission de fonctionnaire, afin, disait-on, de pouvoir enfin dire librement et ouvertement son opinion.

Afin que le rapport de cet ingénieur puisse être bien compris, un exposé sommaire des principaux traits géologiques et miniers d'Eisleben est indispensable.

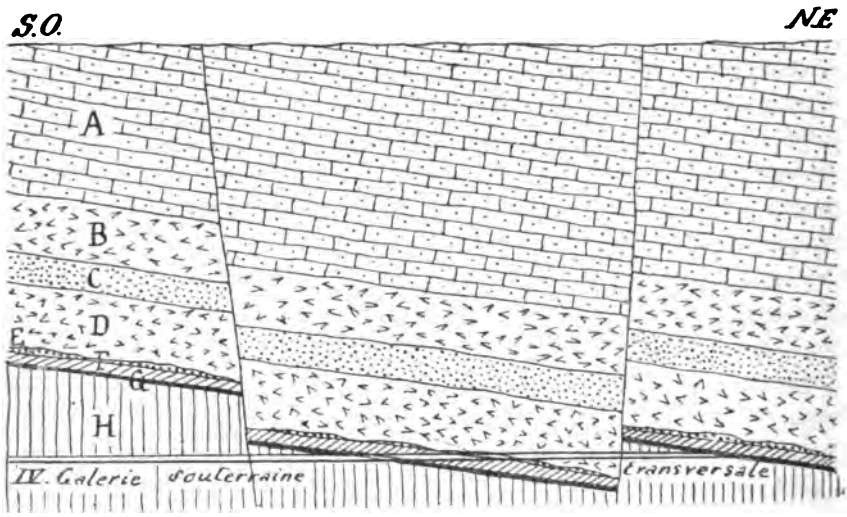
Constitution géologique de la région minière d'Eisleben.

Le schiste marneux de couleur sombre et chargé de bitume qui doit au sulfure de cuivre qu'il contient le nom de schiste cuprifère (*Kupferschiefer*), repose sur les bancs puissants du *Rothliegende* ou *Todtliegende* rouge, composés d'amas de galets de quartzite et de porphyre, de lits de grès et de glaise, donc d'un mélange d'éléments siliceux et argileux; le *Weissliegende* seul l'en sépare, sur une épaisseur variant de $0^m,20$ à 2 mètres et avec une constitution analogue.

Quoique l'épaisseur des couches de schiste cuprifère réunies ne dépasse pas 30 à 55 centimètres, ce qui force le mineur à les travailler couché sur le flanc, elles se subdivisent en cinq ou neuf lits distincts, auxquels des différences de richesse ou de texture ont fait donner des noms particuliers. Au-dessus d'eux, le « toit » est formé d'un banc de calcaire marneux compact, de 15 à 35 centimètres d'épaisseur, puis $0^m,75$ à 1 mètre de calchiste (*die Fäule*, le pourri) et enfin des bancs du *Zechstein* proprement dit, chacun de 10 à 30 centimètres d'épaisseur, mais qui réunis atteignent 6 mètres, et constitués par du calcaire grossier allant du jaune au gris de fumée, et dont le nom a été étendu à toute la formation géologique dont il n'est qu'un élément. Ce *Zechstein* proprement dit est d'ailleurs l'élément le plus constant et le plus régulier de toute la formation. Les couches qui le surmontent, c'est-à-dire l'étage moyen et l'étage supérieur du *Zechstein*, consistent principalement en anhydrite, avec des interférences de gypse et de sel. Rarement les bancs d'anhydrite reposent directement sur le *Zechstein;* la plupart du temps, ils en sont séparés soit par un banc de dolomie poreuse (*Rauchwacke*) de peu d'épaisseur, soit, plus souvent, par un lit irrégulier de marne dolomitique sableuse (*Asche*). Cette *Asche*, ou cendre, se présente en masses beaucoup plus considérables, mais assez variables, unies à des schistes puants, noirs, bitumineux, et au *Rauchstein* qui n'est qu'une *Asche* durcie et compacte, dans un niveau qui sépare l'anhydrite en deux étages : l'un, le plus ancien, est le plus épais ; l'autre, plus récent, est accompagné ordinairement dans sa partie supérieure de bancs d'argile.

Digitized by Google

Toutes ces couches stratifiées en concordance et recouvertes de dépôts plus récents également concordants, ont en général une inclinaison partant des montagnes du Harz, et qui pour le Kupferschiefer, au point de départ contre le Harz, va jusqu'à 50°, pour s'atténuer toutefois graduellement, mais rapidement, et jusqu'à 5° ou 7°. Deux rides en forme de selle, *Annarode-Hornburg* et *Hettstedt-Gerbstedt*, partant du Harz et qui ramènent toutes deux le *Rothliegende* à la surface, donnent à la région d'Eisleben l'aspect d'un bassin ouvert vers le sud-est, dont le centre est rempli par des couches plus récentes que le *Rothliegende* (voir planche VII). Par suite de la disposition des couches en fond de bateau, celles qui sont les plus proches du bord arrivent à la surface, mais (par suite des influences atmosphériques) celles de l'étage du



Coupe passant par la galerie d'exploitation n° IV du puits Martin.

A. Buntsandstein inférieur.
B. Anhydrite et gypse.
C. Asche, Stinkschiefer et Rauchstein.
D. Anhydrite.
E. Asche.
F. Zechstein.
G. Schiste cuivreux exploité.
H. Rothliegende.

Zechstein se présentent tellement amoindries, que, à l'échelle de la planche VII, il n'est plus possible de leur donner une place distincte; leur tranche se confond avec la limite du *Rothliegende*, et l'étage du grès bigarré paraît succéder immédiatement au *Rothliegende*. Mais l'érosion météorique et les ablations consécutives ont agi de telle sorte que les couches inférieures du grès bigarré seules se présentent au bord du bassin, tandis que les couches plus récentes et des débris de

Digitized by Google

Muschelkalk en masses sporadiques ne se montrent qu'à l'est de la vallée de la *Böse Sieben*, recouverts en certains endroits par des dépôts de l'époque des lignites.

La régularité de la formation est toutefois troublée par des failles et des plissements que l'on peut suivre dans le *Rothliegende*. Parmi les failles transversales à la direction des couches et les affaissements semblables à de grands fossés qui en ont été la suite, il en est un qui intéresse spécialement la petite région d'Eisleben : c'est celui que la planche VI indique sous le nom de *Flötzgraben* du puits Martin, où l'on voit les bancs s'enfoncer d'un coup de plus de 30 mètres, ce que la coupe reproduite par la figure ci-contre, transversale au plancher de la galerie n° IV, indique nettement.

Responsabilité attribuée aux exploitations minières.

Voici maintenant les raisons qui ont amené M. Morsey-Picard à conclure à la faute des exploitations minières.

La baisse continue du prix de l'argent et du cuivre a amené l'exploitation Mansfeld à augmenter de plus en plus sa production, afin de conserver son gain annuel, malgré la réduction du profit net de la tonne de minerai. L'extraction, qui jusqu'alors s'était confinée à l'ouest de la ville d'Eisleben, vers le bord du bassin, fut poussée, au commencement de 1880, vers le fond de celui-ci et même dans les bancs situés sous la ville même. Les puits foncés à cet effet (les puits *Segengottes* à l'ouest, le puits « Clotilde » au nord de la ville), arrivés au niveau de l'*Asche*, rencontrèrent de telles masses d'eau, que leur mise en état subit des retards énormes et ne put s'accomplir que lorsque les galeries eurent été reliées par des travaux transversaux et suivant la pente du *Kupferschiefer* à celles des puits « Otto » situés plus à l'ouest. La planche VII montre la pente de ces galeries, avec une dénivellation de 63 mètres comptée à partir du « Schlüssel-Stollen », qui enlève presque toutes les eaux souterraines d'un des côtés du bassin sur une longueur de 34 kilomètres, et les déverse dans la Saale près de Friedeburg. En poussant ces galeries, on était arrivé aux bancs du Puits Martin, sans rencontrer d'eau venant des failles voisines, quoique celles-ci fussent très profondes et très longues; ce qui est un fait remarquable et qu'il ne faut pas perdre de vue. Ces galeries, en traversant l'anhydrite ancienne, n'y avaient rencontré ni cavernes ni cheminées, mais seulement des amas de sel gemme. La galerie n° II

Digitized by Google

en avait rencontré en deux points éloignés l'un de l'autre de 120 mètres; la galerie n° III, distante de la précédente d'environ 850 mètres au sud-est, en un seul point, et dans la galerie n° IV, de nouveau à 675 mètres plus vers le sud-est, on l'avait rencontré sur une longueur de 177 mètres et, dans son passage suivant la pente « *hulfsflache* », sur une largeur de 38 mètres. En dehors de ces galeries, on n'a rencontré le sel gemme dans la région d'Eisleben que dans le puits *Segengottes I*, et il n'y a que $0^m,5$ de puissance.

Après que l'on se fut relié au puits Clotilde, on commença l'extraction du *Kupferschiefer*, bien que, comme le montre Morsey-Picard, on dût s'attendre avec certitude, dans la région des cheminées ou, pour mieux dire — car ce niveau n'est pas encore bien connu — dans les couches de l'*Asche*, à rencontrer des amas d'eau, qui s'écouleraient par les travaux pratiqués en dessous. Cette invasion des eaux de cheminées devait se produire au plus tard lorsque, par suite de l'enlèvement du *Kupferschiefer*, le poids accru des couches surincombantes provoquerait l'affaissement du *Zechstein* et d'une partie du gypse, ou pour mieux dire de l'anhydrite. Que les travaux miniers amènent de pareilles pressions suivies de fendillements et de fissures, cela ne peut faire aucun doute.

A la vérité, l'extraction de *Kupferschiefer* ne laisse pas derrière elle des vides aussi considérables que parfois l'extraction de la houille, lorsque celle-ci, se pratiquant de la périphérie du champ de taille vers la galerie d'accès, on laisse s'écrouler le toit des couches puissantes enlevées sans se préoccuper d'autre chose que d'amener un affaissement aussi uniforme que possible. Afin d'éviter la production de failles susceptibles de fournir passage aux eaux, le *Kupferschiefer* s'extrait, au contraire, en partant du point d'accès et par soutènement, et l'on remblaie, au fur et à mesure de l'avancement les tailles vidées, par des murs de pierres sèches dont les travaux fournissent les matériaux. Mais ces remblais sont insuffisants pour éviter tout affaissement du toit; celui-ci se fend là où il est demeuré suspendu, ces fentes se prolongent en hauteur; d'ailleurs, le mineur de la région d'Eisleben voit sans déplaisir subsister des porte-à-faux d'étendue modérée : ils lui facilitent l'abatage du *Kupferschiefer*; il les crée même systématiquement avant de procéder à l'abatage, et cela en laissant en repos pendant un certain temps les tailles qu'il a préparées pour le travail par l'explosion de petites mines.

L'extraction, commencée en 1888 à l'endroit marqué à la planche VI, fut brusquement interrompue le 26 juillet 1889 par l'invasion de puissantes masses d'eau qui remplirent tous les travaux jusqu'au-dessus

Digitized by Google

même du plancher de la galerie n° II. Certes, ce fut une faute à la fois technique et administrative, après avoir constaté, lors de l'enfoncement du puits voisin, l'énorme réservoir d'eau que contenaient les couches de l'*Asche,* que de n'avoir modifié en rien le système d'abatage et de n'avoir pas pris les mesures nécessaires pour éviter le fendillement vertical des couches surincombantes, et même de n'avoir pas préparé des moyens d'exhaure suffisants pour éviter l'inondation du fond; mais quant à la surface du sol, elle ne pouvait souffrir de ces coups d'eau que pour autant qu'à leur suite des cavernes, jusqu'alors remplies d'eau stagnante sous une haute pression et en conséquence en équilibre, se vidant subitement, vinssent à perdre leur stabilité et s'écroulassent en entraînant avec elles leur recouvrement; dans ce cas, des effondrements profonds, très fâcheux pour les bâtisses, devaient se produire, comme par exemple ceux de Brüx, en 1895.

Ces hypothèses, possibles, mais non prouvées et non prouvables, ne pouvaient servir de base à la responsabilité de l'entreprise minière, car il n'était pas possible de mettre à sa charge la création des cavernes dont on supposait l'existence, pas même de lui reprocher de ne pas s'être prémunie contre celles-ci, qu'aucun indice extérieur ne fait connaître. Mais Morsey-Picard lui reprochait de créer des cheminées nouvelles, parce que ses travaux avaient mis en contact avec des masses de sel gemme, qui jusque-là lui étaient complétement inaccessibles, de l'eau en mouvement, dont la force les dissolvait. Et le mouvement de cette eau était bien dû à l'exploitation, car il était produit par ses pompes, qui ramenaient sans relâche des masses d'eau nouvelles et activaient ainsi la dissolution du sel.

D'où venait, d'où vient encore cette eau? Cette question n'avait qu'un intérêt accessoire. On avait affirmé au début qu'elle était fournie par l'« étang salé », situé à près de 10 kilomètres; mais on avait dû renoncer à cette thèse en voyant l'eau rester aussi abondante qu'auparavant, après que cet étang eût été asséché. La profondeur à laquelle est situé le niveau de l'*Asche,* gorgé d'eau, permet de lui attribuer une réserve d'eau presque inépuisable.

Depuis que les pompes travaillent à ramener l'eau à la surface, on constate que sa richesse en sel va en augmentant; mais cela est-il dû aux travaux d'exploitation? C'est ce qu'on ne sait naturellement pas prouver.

Pour que la dissolution d'une masse de sel gemme située à 327 mètres de la surface, puisse engendrer une cheminée telle que son effondrement se répercute sur cette surface, il faut que cette masse

Digitized by Google

de sel soit très considérable; aussi Morsey-Picard s'efforce-t-il de démontrer qu'elle l'est. Il néglige le sel rencontré dans les galeries profondes n°s II et III, à cause de la grande distance et parce que, dans la galerie n° III, il occupait à peine une surface d'un pied carré, mais il insiste sur le sel révélé par la galerie IV et ses dépendances, qui, suivant lui, constitue un seul et même dépôt, dont les galeries, hautes de 2^{m},2, ont mis à découvert déjà d'une part 1,660 mètres carrés et d'autre part 320 mètres carrés, de sorte que l'étendue des surfaces d'érosion, en supposant seulement une extension de 1 mètre de chaque côté, devait atteindre 3,080 mètres carrés et 570 mètres carrés, et aller ainsi en progression ininterrompue.

Quelle peut être la grandeur de cette masse de sel, et surtout quelles peuvent être ses dimensions verticales? C'est ce qu'il se garde de préciser; il insiste surtout sur ce fait que la cavité créée par la dissolution et le départ de cette masse d'au moins 177 mètres de diamètre, doit s'être rapidement effondrée. Au premier affaissement ont dû en succéder d'autres dans les couches surincombantes, au fur et à mesure que la dissolution progressait. Qui oserait mettre en doute que ces affaissements consécutifs puissent se propager jusqu'à la surface du sol, en même temps que des mouvements se produisent dans les failles, dont les bancs ont depuis des temps incalculables perdu toute cohésion avec leur voisinage (tout en s'étant ressoudés de façon à redevenir imperméables, ainsi que l'a montré leur siccité)? Et comme l'emplacement des premiers affaissements superficiels (dans la *Zeisingstrasse*) est précisément dans la verticale qui part du dépôt de sel, et à l'endroit précis où, d'après la théorie, le premier affaissement de la cheminée de création récente avait dû se produire, Morsey-Picard déclare démontré que l'affaissement consécutif des bancs mis en porte à faux a produit les descentes de sol et les dommages aux bâtiments de la ville d'Eisleben. Il ne voulait pas même admettre qu'il fût utile d'attendre, comme le demandait la Société attaquée, pour décider la question, jusqu'à l'époque où l'exhaure des lieux inondés, que la Société espère achever en quelques années, permettrait la visite des parties de l'exploitation situées sous la ville d'Eisleben.

Et cependant, ce peut être par un effet du hasard que les affaissements de la *Zeisingstrasse* se trouvent précisément en verticale au-dessus de la masse de sel qu'on a rencontrée à 327 mètres de profondeur. Cette circonstance n'est certainement pas décisive. La relation entre les masses de sel supposées enlevées et les masses voisines est d'une grande importance et doit être soigneusement examinée, avant

Digitized by Google

que l'on n'admette que la cavité laissée par l'enlèvement à 327 mètres de la surface ait pu troubler celle-ci, alors que les fragments des divers toits successivement écrasés ont dû, par le foisonnement, faire l'office de remblayage. Pour que la surface dût nécessairement souffrir de l'écroulement souterrain, il faudrait que celui-ci affectât une cavité d'au moins 180 mètres de haut.

Défense de l'Administration minière.

L'exposé qui précède indique qu'il ne devait pas être difficile à MM. Wimmer et Schrader, ingénieurs de la Société attaquée, de montrer combien l'énormité des effets produits était peu en rapport avec les faits constatés. Ils n'avaient qu'à invoquer combien rare était le sel dans le sous-sol d'Eisleben, à rappeler qu'il n'y constituait que des amas insignifiants, en forme de lentilles (*Nester*), mais nullement de grands dépôts de forte épaisseur (*Stöcke*). La longueur, importante cependant, de 177 mètres constatée chez une de ces lentilles, à 327 mètres de profondeur, ne permettait nullement de conclure à une forte épaisseur, ce qui était cependant la question essentielle au débat. Cette objection avait d'autant plus de valeur, que la galerie qui a rencontré le sel suit la direction des couches et peut avoir, par conséquent, traversé celui-ci dans son étendue la plus considérable.

D'ailleurs, l'allure de l'anhydrite dans laquelle le sel se trouve inclus s'oppose à ce que l'on attribue à ce dernier une épaisseur telle que sa disparition dût compromettre la stabilité de toute la formation. Le sel gemme se trouve entrecroisé avec des lits minces d'anhydrite, qu'on appelle les anneaux annuels *(Jahresringe)* et qui divisent le banc en une infinité de couches de faible épaisseur; de la même manière viennent s'interposer dans l'anhydrite des lits, qui ont jusqu'à 5 millimètres d'épaisseur, d'une substance de couleur foncée, analogue au schiste bitumineux. De même que les anneaux annuels du sel gemme, ces lits interposés présentent clairement tous les plis et replis du dépôt, et leur couleur sombre fait ressembler les parois des galeries et chambres pratiquées dans l'anhydrite à une peau de zèbre ou de tigre, alternativement rayée de noir et de blanc. La substance analogue au schiste bitumineux n'est autre chose que le dépôt laissé par les troubles périodiques des cours d'eau qui venaient au temps jadis se déverser dans la crique ou dans la lagune, où pendant la période sèche l'évaporation était assez intense pour que l'anhydrite se formât et se déposât dans

Digitized by Google

l'eau de mer arrivée à sursaturation. Pour que le processus de concentration et de précipitation chimique fût poussé jusqu'à la formation d'un dépôt puissant de sel marin, il eût fallu une interruption absolue et prolongée de tout afflux d'eau douce, si pas générale, au moins localisée au point observé, circonstance que la continuité et la régularité des traces de troubles fluviaux écartent absolument ici (1).

Dans notre cas, les dimensions du dépôt salin devaient forcément rester faibles, aussi longtemps que durait l'alternance des abondances et des suppressions d'eaux affluentes, tant douces que salées. Or cette alternance dans la région considérée est restée si régulière que même les masses d'anhydrite qui recouvrent le sel présentent, comme celui-ci, le zébrage régulier, produit par les lits interposés de nature argileuse et de couleur foncée; nous avons pu le constater en examinant ce qui remplissait une véritable cheminée due au sel gemme, rencontrée en 1895 dans la galerie n° II, et d'un diamètre d'au moins 28 mètres. Elle était alors asséchée, une partie du sel en roche n'avait pas été dissoute, elle était comblée par des blocs d'anhydrite de toutes dimensions, tombés évidemment du haut de la cavité et entassés en désordre; tous étaient munis des mêmes raies noires que l'anhydrite au milieu de laquelle les galeries avaient été pratiquées.

Mais si les circonstances génétiques des couches salines observées rendent invraisemblable, à raison de leur faible épaisseur, la formation de cavités dont l'effondrement aurait pu se répercuter à la surface, l'examen approfondi des troubles superficiels prouve de son côté que ceux-ci diffèrent profondément de ceux qu'engendrent de pareils effondrements. La loi de ces derniers, alors même que la forme en entonnoir n'est pas parfaite, c'est la disposition des affaissements de la surface en cercle ou en ovale autour d'un centre. Les fissures du sol affectent donc des directions soit tangentielles, soit radiales, et présentent l'aspect d'une toile d'araignée. La disposition des fissures du sol constatées à Eisleben est tout autre (2).

(1) La précipitation de l'anhydrite exige déjà une réduction du volume de l'eau de mer à 11.2 %, et il faut une réduction jusqu'à 5.5 % du volume primitif pour que le sel marin se précipite ou cristallise à son tour. (Voir *Glückauf* d'Essen, 1896, n° 24.)

(2) La figure que le rapport Helmhacker a donnée des affaissements du sol survenus à Brüx, en Bohême, dans la nuit du 20 au 21 juillet 1895, présente d'une façon saisissante les différences signalées. A Brüx, un lit d'environ 50,000 mètres cubes de sable mouvant s'était précipité, sur une épaisseur d'environ 100 mètres, dans une cavité d'environ 30 mètres de haut créée par l'extraction des lignites; les couches superficielles, privées de leur support, s'affaissèrent et il se créa des entonnoirs (*Pingen*) ayant jusqu'à 15 mètres de profondeur, entourés d'une couronne serrée de fissures parallèles à leur bordure.

Digitized by Google

Il fut objecté qu'il existait, non pas un, mais deux centres d'effondrement (la *Zeisingstrasse* et la *Rammthorstrasse*), et que leur combinaison influait sur les phénomènes superficiels; mais c'était là une pure hypothèse. Il faut donner le pas en ces matières aux fissures et en général aux phénomènes du sol; les bâtisses élevées sont des indices moins sûrs, car leurs lézardes sont fortement sujettes à subir l'effet de circonstances purement accidentelles.

Recherche des causes réelles des mouvements du sol d'Eisleben.

Il est assez légitime, après avoir reconnu le caractère très contestable et l'impossibilité des conclusions de Morsey-Picard, de chercher ailleurs l'origine des mouvements du sol d'Eisleben, en prenant avant tout en considération la disposition qu'y présentent les fissures. Il est certain qu'on ne peut songer à écarter complétement l'influence des circonstances de la surface, déjà mentionnées plus haut, telles que l'escarpement des rives du cours d'eau local et le tassement des dépôts modernes de gravier et d'argile : ainsi la fissure I de la planche VI, qui traverse l'église Sainte-Anne, en dépend et vraisemblablement aussi la fissure II. Mais toutes les autres offrent une régularité incontestable. Elles sont toutes parallèles entre elles et uniformément dirigées du sud-est au nord-ouest. Cette uniformité de direction prouve, suivant des principes dont l'exposé nous entraînerait trop loin, que les secousses auxquelles les fissures sont dues ne proviennent pas d'un point central, mais d'un grand nombre de points, répartis sur un plan de direction unique. Il se peut qu'ils soient répartis sur plusieurs plans, mais qui alors doivent être parallèles, ou du moins de même direction, de telle façon que leurs traces sur un plan horizontal soient parallèles entre elles et avec celles des fissures du sol. Or toutes les couches du sous-sol jusqu'au *Rothliegende* inclus ont la même direction. Des galeries profondes suivent en général la direction des couches; aussi voit-on nettement dans la planche VI le parallélisme existant entre les fissures du sol et la galerie n° IV.

Ces circonstances de grande importance font présumer que les perturbations d'Eisleben ont pour origine des plans tectoniques des couches sous-jacentes, dont la stabilité a été détruite, ce qui a entraîné des fracassements et des affaissements. Mais ces derniers ne peuvent s'être étendus à toute la surface du plan; ils ont été limités à une zone parallèle à la direction des couches et à leur affleurement vers le bord du

Digitized by Google

bassin qu'elles forment (voir planche VII); c'est dans cette zone qu'est comprise la région sinistrée.

A quelle cause peut être due cette destruction de la stabilité? Évidemment à une perte de substance, soit d'éléments rocheux entièrement disparus, soit d'éléments encore présents, mais ayant subi une réduction. Vraisemblablement, l'eau qui parcourt les couches superposées doit être considérée comme l'instrument et le véhicule de la perte de substance dont l'admission s'impose.

Recherche de la substance dissoute par l'eau et ayant provoqué les tassements.

C'est donc l'eau, non point par érosion mécanique, mais par dissolution et lavage chimique, qui a diminué la substance des couches entassées. Mais quelle substance a-t-elle enlevée? Pour résoudre cette question, il est nécessaire de considérer, à deux points de vue divers, les roches qui constituent le sous-sol : d'abord sous le rapport de leur degré de résistance à l'action chimique des eaux atmosphériques, ensuite sous le rapport de la part plus ou moins grande pour laquelle elles contribuent à la stabilité du système; de plus, il faut rechercher les voies par lesquelles l'eau arrive au contact des roches dans le sous-sol.

Dans le bassin en fond de bateau de la région d'Eisleben, l'eau n'a pas pu arriver immédiatement de la surface aux roches attaquables; celles-ci sont recouvertes par les masses du grès bigarré, où domine l'élément argileux, c'est-à-dire imperméable. La réalité s'est, sous ce rapport, montrée conforme à la vraisemblance, lorsque l'on a eu constaté la parfaite siccité des failles qui environnent la galerie principale du puits Martin. Il faut se rapprocher des bords du bassin pour rencontrer des cavités sur le parcours des failles verticales. C'est donc vers ces bords qu'il faut chercher les points par où l'eau pénètre, et cela en grande abondance, comme le savent bien les mineurs de la région qui en ont rencontré certaines couches absolument gorgées; là où les divers bancs présentent leur tranche, là aussi sont les points de pénétration. La conséquence naturelle de ce fait est une distribution des effets de pénétration et de dissolution, par zones de décroissance parallèles aux bords du bassin; c'est, en effet, ce qui se présente à la région des perturbations d'Eisleben, qui constitue une de ces zones.

Quant au plus ou moins de solubilité des roches, il faut placer au premier rang le sel gemme; mais il est généralement établi — et on se

Digitized by Google

l'explique facilement — que dans les environs d'Eisleben, aux bords du bassin, le sel ne se présente que bien rarement ; il ne s'y rencontre qu'à l'état de petites lentilles, séparées les unes des autres et incluses dans l'anhydrite. Pour que l'eau puisse exercer sur lui son action dissolvante, il faut que l'anhydrite se fissure abondamment; or elle n'y est guère disposée : c'est ce que montrent les nombreux plis à flexions sans rupture de ses diverses couches.

Quant à l'anhydrite, elle n'est pas directement soluble dans l'eau; elle ne le devient que par sa transformation en gypse; une mince couche de cette substance recouvre toutes les parois d'anhydrite avec lesquelles l'eau a été en contact. Cependant, elle n'est pas très avide d'eau (hygroscopique), comme le voudrait certaine théorie très facile à réfuter, suivant laquelle la transformation de l'anhydrite en gypse s'opérerait en grandes masses, ce qui exigerait un supplément d'espace, qu'elle n'aurait pu se procurer que par le plissement de ses couches et le soulèvement avec rupture de son toit. Au lieu de cela, nous ne voyons la transformation en gypse s'opérer que latéralement à des fissures préexistantes qui ont permis l'accès à l'influence de l'eau, et là le revêtement de gypse protège bientôt le reste de l'anhydrite contre cette influence et arrête ou tout au moins ralentit la transformation.

La lenteur de celle-ci a été confirmée par ce que l'on a pu observer dans la cheminée dont il a été question ci-dessus, et où l'on a constaté que non seulement les blocs écroulés d'anhydrite avaient conservé leur nature originaire, tandis que les vides régnant entre eux étaient en partie remplis d'un sable formé de cristaux de gypse, provenu probablement des « anneaux annuels » d'anhydrite intercalés dans le sel gemme, mais encore qu'il en était de même des parois de la cavité, formées de sel gemme érodé par l'eau et renfermant de nombreux cristaux d'anhydrite en saillie.

Ces roches facilement solubles, sel gemme, gypse et anhydrite, exigent donc, pour être enlevées de la masse rocheuse par délavage, un fissurage préalable de celle-ci qui donne accès à l'eau. Mais ce fissurage est nécessairement un phénomène secondaire, postérieur au dépôt des couches, et l'expérience minière acquise à Eisleben autorise à affirmer que jusqu'ici il n'a pas atteint assez d'ampleur pour permettre l'accès de l'eau par la tranche affleurante des bancs.

Il faut bien cependant trouver des couches *perméables*, la grande quantité d'eau que l'on rencontre dans les travaux souterrains l'exige. Elles ne peuvent se trouver que dans les couches de l'*Asche* et de

Digitized by Google

la *Rauchwacke;* celles-là sont les seules de toutes celles qui surmontent le *Kupferschiefer* qui présentent la perméabilité nécessaire. L'*Asche* prédomine notablement par sa masse, du moins d'après les constatations faites jusqu'ici. Que sont ces *Aschen?* Une marne sableuse dolomitique à gros grains qui ne se rencontre en masses notables qu'ici et constitue ainsi une roche propre au bassin d'Eisleben. Les mineurs d'Eisleben l'ont dit depuis longtemps : elles sont le résidu d'une roche jadis compacte, dont un des éléments a été enlevé par dissolution et délavage. Tant au point de vue pétrographique qu'au point de vue géologique, on peut affirmer que les *Aschen* n'ont jamais pu être déposées dans leur état actuel. La roche mère d'où elles proviennent par l'effet dissolvant des eaux atmosphériques riches en acide carbonique, tant par elles-mêmes que par l'humus qu'elles ont traversé, est un calcaire dolomitique. Mais pour qu'il eût offert à l'eau des surfaces d'attaque et des moyens d'accès, il fallait qu'il ne fût pas compact, mais au contraire de structure poreuse ou caverneuse, semblable à celle que présente encore aujourd'hui la *Rauchwacke* associée aux *Aschen*. A cette roche mère l'eau a enlevé le carbonate de calcium pur, par le procédé mis en œuvre dans d'autres calcaires où par dissolution et délavage le long des fissures elle a créé des cavernes. On ne peut invoquer contre la réalité de ce processus la circonstance, encore à expliquer du reste, que dans cette région font défaut ces dépôts superficiels de tuf calcaire si fréquents comme dépôts de source dans le *Muschelkalk*, car ceux-ci manquent surtout dans la région du calcaire dolomitique du *Zechstein*, et même là où celui-ci présente des crevasses élargies en forme de grandes cavernes. Mais comme, dans notre cas, l'attaque chimique ne se produisait pas le long de fissures d'une roche compacte, mais bien dans toute la masse d'une roche spongieuse imbibée d'eau, et comme l'eau de dissolution n'a pu pénétrer en profondeur que le long de la surface des couches intercalaires imperméables, elle n'a pu arriver à la création de hautes salles et de galeries isolées, elle n'a pu produire que des érosions larges, mais de faible épaisseur, toutes parallèles à la direction des couches. Là où la perméabilité des couches se modifiait, — ce que la présence du schiste bitumineux associé aux calcaires amenait assez fréquemment, — de pareilles érosions ont pu se superposer par étages. Elles se sont multipliées et arrondies en proportion de la durée et de la force des réactions chimiques. Et comme l'agent chimique agissant uni à l'eau ne pouvait pénétrer que par la tranche des couches affleurant aux bords du bassin, les périodes d'égale puis-

Digitized by Google

sance du processus dissolutif devaient se manifester par des zones parallèles à ces bords, à condition, bien entendu, que l'eau pénétrât également à tous les points d'affleurement et ne fût pas en certains d'entre eux arrêtée par des circonstances accidentelles.

La perte de substance infligée aux couches dolomitiques a nécessairement altéré leur stabilité et leur force de support. Le temps devait inévitablement amener leur rupture. Leurs débris étaient bien plus faciles à pénétrer par l'eau dissolvante qu'elles ne l'étaient primitivement, et le processus érosif augmentait dès lors en intensité et en rapidité. La continuation de l'érosion et des fractures qu'elle amenait finit nécessairement par agir sur l'ensemble des dépôts, dont la stabilité générale alla s'affaiblissant, non seulement celle des calcaires disposés à se transformer en *Asche,* mais celle du *Zechstein* pris dans son ensemble. L'importance du phénomène ne peut s'évaluer que par le calcul du rapport existant entre la masse de la roche primitive et celle de l'*Asche,* qui est son résidu. Or le puits Ernest II, près d'Helbra, a traversé 55 mètres d'*Asche,* qui ne représentent que le tiers et même le cinquième de la roche qu'ils remplacent; on en peut conclure la puissance de l'effet que pareille substitution a dû exercer sur la stabilité générale du système rocheux dans lequel elle s'est produite. Cet effet est colossal, et comme le phénomène auquel il est dû continue encore de nos jours et continuera aussi longtemps que des eaux chargées d'acide carbonique pénétreront dans les couches et y rencontreront du carbonate de chaux, on peut juger quelles conséquences il peut entraîner. Ce qui vient encore le renforcer et l'aider, c'est ce qui se passe dans les couches que les précédentes soutenaient; dépourvues de soutien, elles aussi s'affaissent inévitablement, si pas immédiatement, du moins lentement, à mesure que leur propre solidité disparaît, et il en résulte un fracassement général. Des fissures très étendues en hauteur se produisent et suivant les zones d'égale érosion, viennent apparaître à la surface en lignes de même direction. Ce fissurage part des roches que l'eau a affectées les premières, c'est-à-dire du niveau assez insignifiant des *Aschen* superposées au *Zechstein* proprement dit, se propage dans les *Aschen* du niveau supérieur, beaucoup plus puissantes, renfermant du schiste bitumineux, et atteint enfin l'anhydrite, qui souvent contient du sel. Alors l'érosion trouve à sa disposition un champ propice à la création de cavités verticales.

Digitized by Google

Conclusions.

D'après l'exposé qui précède, nous avons donc le droit d'admettre que par un phénomène continu de dissolution et de délavage, dont le début se perd dans la nuit des temps et qui n'est pas terminé, se sont formées et se forment encore dans le sous-sol d'Eisleben et de ses environs une série de petites cavités aplaties, parallèles à la stratification, amenées par l'enlèvement du carbonate de calcium; nous avons le droit d'admettre aussi que la compression de ces cavités en a amené d'autres disposées en chapelets (*Schlottenzüge*) dans l'anhydrite et le gypse, cavités dues à l'enlèvement de cette dernière roche et du sel gemme qu'elle contient par places.

Une de ces cavités a-t-elle atteint dans le passé ou plus récemment des dimensions assez grandes pour que son effondrement ait pu, étant donnée la profondeur de sa position, réagir sur la surface et y amener des affaissements locaux? C'est ce que personne n'affirme et ce qui n'est pas vraisemblable. Il va de soi que l'affaissement de nombreuses cavités, même à de grandes profondeurs, doit avec le temps amener des phénomènes de surface; mais cela ne se fait que lentement, graduellement; l'ensemble du sol se tasse avec une certaine plasticité et sans désordres violents et localisés. Personne n'a jamais supposé aux cavités qui s'écrasaient une importance telle que l'on pût chercher dans ce phénomène l'explication des secousses ondulatoires qui viennent souvent troubler la superficie de notre globe. La multiplicité des cavités fait qu'elles ne peuvent guère s'écraser isolément, qu'au contraire elles s'écrasent par groupes, tantôt horizontaux, tantôt verticaux, et comme elles ont une direction commune, les secousses d'effondrement se propagent le plus loin et le plus vigoureusement en ce sens, parce que les efforts des nombreux chocs s'y accumulent, de même que des coups avec chocs répétés tordent une barre métallique. C'est pour cela que des secousses trop faibles pour produire des effets visibles à la surface, ou affaiblies par la trop grande profondeur des points ébranlés, ont pu et peuvent encore, par leur réunion, secouer violemment des zones étendues du sol superficiel et y provoquer des dégâts de la gravité de ceux dont Eisleben a souffert dans ces dernières années.

On se demandera, si ces dégâts ne peuvent être imputés aux travaux du mineur et sont simplement le résultat d'un phénomène irrésistible, dû aux circonstances constitutives du système géologique local,

Digitized by Google

comment il se fait qu'ils ne se manifestent qu'à certains moments et en certains lieux? Mais cette limitation est-elle bien réelle? Leur apparition intense à Eisleben peut être due à des conditions spécialement favorables du sol superficiel, déjà plusieurs fois mentionnées, et spécialement en outre à la circonstance que les bâtisses élevées s'y rencontrent en groupe compact. La continuation vers le nord-ouest et vers le sud-est, à partir d'Eisleben, de la zone parallèle au bord du bassin, ne présente plus que de rares bâtisses élevées et, dès lors, les effets de l'ébranlement du sol ont pu facilement y échapper à l'observation. On peut expliquer en outre la limitation de la région sinistrée à une partie seulement de la zone hypothétique, par les différences de perméabilité dans le niveau de l'*Asche*, ou par d'autres circonstances accidentelles, qui ont influé sur la répartition des eaux d'infiltration.

A l'ouest d'Eisleben, et surtout le long du bord du bassin, les mouvements du sol n'ont jamais fait défaut; mais comme le recouvrement en grès bigarré y est de faible épaisseur et comme la présence du gypse dans le sous-sol est connue de tous, on les a toujours attribués à des effondrements de « cheminées ». Eisleben lui-même a peut-être été déjà victime dans le passé de pareils phénomènes, dont l'homme, à vie si courte, a perdu le souvenir; du moins l'expert Henoch, consulté dès l'origine et qui procéda alors à l'examen minutieux des monuments affectés, déclara avoir constaté dans les plus anciens les traces de vieilles lézardes réparées. Il n'y avait donc d'extraordinaire dans les derniers dégâts que leur intensité. Mais d'après ce qui a été dit ci-dessus des conditions dans lesquelles se forment, parallèlement aux bords du bassin, des zones d'égal affaiblissement de résistance et d'égal affaissement, il faut admettre que ces zones se déplacent peu à peu des bords du bassin vers son centre; les conditions actuelles du sous-sol se produisent donc pour la première fois sous Eisleben et antérieurement leur équivalent ne régnait que sous la zone intermédiaire entre cette ville et le bord du bassin.

Il semble donc qu'il faille écarter toute faute des exploitants de mines. On peut, au contraire, attribuer à leurs travaux une influence atténuante des dangers de la situation. En effet, ils dégagent de grandes quantités d'eau des niveaux supérieurs et soustraient ainsi à l'influence des eaux stagnantes les roches solubles qu'ils contiennent. Le laboratoire du délavage se trouve ainsi transporté dans les niveaux inférieurs, dont les affaissements ne réagissent sur la surface du sol que dans une mesure notablement affaiblie.

Une autre circonstance est encore plus importante. Jusqu'ici les

Digitized by Google

dégâts matériels ont été considérables, mais heureusement aucune vie humaine n'a été atteinte. Il n'est cependant pas douteux qu'il eût pu en être autrement, si la montagne avait été laissée dans un repos absolu; les cavités s'y seraient multipliées, amenant avec elles un état d'équilibre instable allant toujours en s'accentuant. Il eût suffi soudain alors d'une cause occasionnelle, même insignifiante, pour déterminer l'effondrement de toute une masse rocheuse, percée dans tous les sens, et amener des écroulements superficiels bien plus graves que ceux qui se sont manifestés. Semblable catastrophe a été évitée et, certes, l'intérêt général a été ainsi protégé. Il est donc utile de ne pas laisser ces masses rocheuses complétement en repos. A ce point de vue, les secousses modérées, mais répétées, imprimées à la montagne par les explosions de mines et le tassement qui en est la suite, et qui n'affecte guère la surface, ont une grande importance; elles constituent une épreuve incessante de la stabilité du système. Quant à l'envahissement des galeries par les eaux le 26 juillet 1889, on ne saurait admettre qu'il ait eu pour conséquence leur effondrement, et par suite les affaissements dommageables de la superficie, quand on se rappelle que ceux-ci n'ont commencé qu'en décembre 1892.

Digitized by Google

LA GÉOGRAPHIE

DANS

L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR EN BELGIQUE

PAR

A.-F. RENARD

(Communication lue à la séance du 27 juillet 1897)

Les confins de la géographie et de la géologie sont si peu définis que, dans bien des cas, ces deux branches empiètent l'une sur l'autre et qu'il devient difficile de fixer les limites de leurs domaines respectifs. Nous ne nous arrêterons pas à montrer où cette séparation peut s'établir ; qu'il nous suffise d'avoir rappelé les liens étroits qui unissent ces sciences, et cette vérité incontestable que la géographie prête un concours précieux aux géologues et que, réciproquement, la géologie éclaire le plus grand nombre des problèmes géographiques. Le progrès de la géologie dans notre pays demande que l'enseignement de la géographie revête un caractère scientifique qu'il ne possède pas toujours dans nos établissements d'instruction. J'ai pensé que je servirais les intérêts immédiats de la géologie et de la géographie en publiant dans le recueil de la Société quelques considérations qui m'ont été suggérées par la comparaison des études supérieures de géographie en Belgique et à l'étranger, particulièrement à l'Université de Vienne. Une autre raison qui me détermine à les publier dans nos *Bulletins*, c'est que les réformes que je suis amené à proposer tendent directement à ouvrir une carrière aux docteurs en sciences minérales, en leur confiant l'enseignement de la géographie dans les athénées et les

Digitized by Google

collèges. On comprend la sérieuse influence qu'aurait une telle mesure sur les progrès de notre science dans le pays. — Cette notice n'est que le développement d'une lecture que j'ai faite à l'une de nos dernières séances, sur *Les laboratoires des sciences minérales en Allemagne.*

* * *

Nous examinerons d'abord le programme de l'enseignement géographique dans une de nos Universités officielles (1); nous comparerons ensuite cet enseignement avec celui qu'on donne à l'Université de Vienne; enfin nous indiquerons les modifications de programme que nous croyons nécessaires pour élever en Belgique le niveau des études géographiques.

Nous nous bornerons à ce qui concerne l'enseignement supérieur, et spécialement à celui donné aux étudiants parmi lesquels se recrutent les professeurs de géographie pour l'enseignement moyen. Si leur préparation universitaire se fait comme il convient, il est évident qu'on ne tardera pas à en éprouver les effets à tous les degrés de l'enseignement, et si nous voulons faire progresser les études géographiques en Belgique, nous devons commencer par réformer les méthodes et les programmes relatifs à l'enseignement de la géographie dans nos Universités.

D'après les prescriptions de la loi de 1890, l'enseignement de la géographie à l'Université a été fractionné, réparti entre diverses facultés et comme noyé dans d'autres branches; aucun lien ne réunit les divers cours consacrés à l'étude de cette science, et pour ainsi dire chacun de ces cours s'adresse à des catégories d'élèves très variées.

C'est ainsi que les candidats en philosophie et lettres se destinant au doctorat en philosophie et lettres ont des *exercices sur la géographie.* Les docteurs en philosophie et lettres du groupe B (histoire) suivent des leçons de *géographie* et d'*histoire de la géographie.* Les candidats en histoire naturelle ont un cours de *notions élémentaires de géographie physique.* Les docteurs en sciences naturelles du groupe des sciences minérales doivent suivre des leçons de *géographie physique.* Pour les grades d'ingénieur des mines et d'ingénieur industriel, le programme

(1) Je n'ai considéré ici que le programme des cours de l'Université de Gand, mais j'ai des raisons de croire que dans les autres Universités du pays l'état des choses ne diffère guère de ce qui existe dans cet établissement officiel. Il faut excepter cependant l'Université Nouvelle, dans laquelle l'enseignement qui nous occupe, confié à l'un des plus célèbres géographes du temps, doit, sans nul doute, présenter un caractère synthétique qu'il ne possède pas ailleurs.

Digitized by Google

porte : *géographie industrielle et commerciale*. Enfin de nouvelles dispositions prescrivent pour ceux qui se destinent aux carrières consulaires, l'enseignement de la *géographie physique, politique, industrielle et commerciale*.

De tous ces cours, ceux du doctorat en philosophie et lettres ouvrent seuls aux élèves universitaires une carrière pour l'enseignement de la géographie dans les athénées et les collèges : c'est parmi ces docteurs seuls que se recrutent les professeurs de l'enseignement moyen chargés de donner cette branche simultanément avec l'histoire.

Si nous voulons nous rendre compte de la part faite à la géographie dans l'enseignement universitaire, nous n'avons qu'à examiner les programmes des cours suivis par ces futurs professeurs de géographie. Reproduisons donc le programme des cours de l'Université de Gand pendant l'année académique 1896-1897, pour ce qui concerne les études en question (1).

B. — HISTOIRE.	JOURS ET HEURES.	
	PREMIER SEMESTRE.	SECOND SEMESTRE.
Encyclopédie de l'histoire	Mardi, 9 à 10 h.; jeudi, 11 à 12 h.	Jeudi, 9 à 10 h.
Histoire de la philosophie (cours de 2 ans).	Lundi, mercredi, 8 à 9 h.; samedi, 9 à 10 h.	
Géographie et histoire de la géographie (en flamand) (cours de 2 ans).	. . . . .	Lundi, mardi, jeudi, vendredi, 8 à 9 h.
Institutions grecques et institutions romaines (cours de 2 ans).	Mercredi, jeudi et vendredi, 10 à 11 h.	
Institutions du moyen âge et des temps modernes (cours de 2 ans).	Mardi, mercredi, jeudi, 9 à 10 h.	
Critique historique et application à une période de l'histoire.	Mercredi, 3 à 5 h. . . Vendredi, 9 à 10 h. . . Mercredi, 3 à 5 h. . . Lundi, 3 à 5 h. . . . Vendredi, 4 à 6 h. . .	Vendredi, 3 à 5 h. Vendredi, 9 à 10 h. Mercredi, 3 à 5 h. Lundi, 3 à 5 h. Vendredi, 4 à 6 h.
Épigraphie grecque et latine (en flamand).	Lundi, 9 à 10 h. . . .	Jeudi, 10 à 11 h.
Paléographie du moyen âge (en flamand) .	Mardi, 11 à 12 h. . . .	Mardi, 11 à 12 h.
Diplomatique	. . . . .	Mardi, 9 à 10 h.
Histoire de la littérature grecque et de la littérature latine (cours de 2 ans).	Mardi, 10 à 11 h ; mercredi, 9 à 10 h.	Mercredi, 8 à 9 h.; samedi, 10 à 11 h.
Histoire des littératures modernes (cours de 2 ans) (en flamand).	Samedi, 10 à 11 h	
Histoire de la pédagogie et méthodologie .	. . . . .	Mardi, mercredi, jeudi, vendredi, 7 à 8 h.

(1) Rappelons, pour ne plus y revenir, que les candidats en philosophie et lettres consacrent une heure par semaine à des exercices pratiques sur la géographie; les exercices pratiques sur l'histoire pour les élèves de la même catégorie sont de quatre heures par semaine.

Digitized by Google

Complétons ce tableau en disant que parmi les matières du doctorat en philosophie dont il s'agit ici, figurent comme branches *facultatives*, non comprises dans les examens et se rattachant à l'enseignement donné à ces docteurs, un cours de *cosmographie* et un cours de *géographie physique*. Ils se font en flamand et ont une durée de deux ans; les jours et heures de ces leçons ne sont pas déterminés au programme. Depuis quelques années déjà, ces cours n'ont pas été donnés.

Si nous nous en rapportons au tableau qui précède et qui indique à la fois les matières et l'horaire de l'enseignement spécial donné aux élèves se destinant à devenir professeurs d'histoire et de géographie, nous constatons que, durant le premier semestre, **24 heures par semaine sont consacrées aux sciences historiques proprement dites, tandis que rien n'est accordé à la géographie**; durant le second semestre, **16 heures par semaine sont attribuées à l'étude de l'histoire et 4 heures seulement à celle de la géographie**. En prenant donc pour base d'évaluation le nombre de leçons de l'année académique 1896-1897, **nous trouvons approximativement 620 heures pour l'enseignement des sciences historiques et 54 heures pour la géographie. Le rapport des leçons d'histoire à celles de géographie est donc de 11.5 à 1** et cette distribution des matières est maintenue pendant deux années, durée normale des cours dont il s'agit.

Faisons remarquer aussi que **neuf professeurs se partagent la tâche de former les futurs historiens, tandis qu'un seul professeur est chargé de la branche qui nous occupe**, et que ce savant est obligé de donner, en outre, des cours d'histoire politique de l'antiquité, de critique historique et d'histoire de l'art.

Il est évident qu'il n'y a pas de parité entre l'histoire et la géographie; cela ressort de ce qu'on vient de lire. Pourtant, s'il est démontré que l'histoire doit prendre les neuf dixièmes du temps des jeunes docteurs pour les mettre à même d'apprendre et d'enseigner cette science, il n'y a rien à dire; mais si l'on pense qu'avec le programme que nous venons de mettre sous les yeux du lecteur, il sera possible de former de savants géographes et de bons professeurs de géographie, on se trompe. Il n'est de doute pour aucun de ceux qui ont étudié cette science et qui en ont suivi les progrès qu'elle est trop vaste, trop complexe, pour qu'il soit possible d'en effleurer toutes les parties durant le temps que lui consacre ce programme.

Notons bien que c'est avec cette préparation, que j'appellerai dérisoire, avec ce bagage scientifique infiniment léger, que le jeune professeur de géographie se trouvera devant ses élèves et se verra forcé de

Digitized by Google

donner ses leçons. Encore si la géographie se restreignait à l'histoire de cette science et à la géographie politique, n'aurait-on pas d'objection aussi grave à formuler contre le programme que nous discutons; mais ce n'est là qu'un aspect, qu'une faible fraction de la géographie moderne, dont le domaine touche à la fois aux sciences mathématiques, à l'astronomie, à la physique, à la géologie, à la zoologie, à la botanique, à l'anthropologie, etc.

On dira peut-être que les jeunes docteurs en philosophie et lettres, une fois désignés pour les chaires d'histoire et de géographie dans les athénées et les collèges, pourront compléter ultérieurement leurs connaissances géographiques; mais je n'hésite pas à affirmer que si même ils en avaient l'intention, ils ne pourraient y parvenir qu'au prix de grands efforts : car la préparation leur manque précisément pour les branches les plus importantes de cette science. En outre, la direction imprimée à leurs études n'est nullement celle des sciences exactes et naturelles auxquelles se rattachent certaines parties essentielles de la géographie qui ne trouvent pas même de place parmi les matières de leurs examens.

Je n'insiste pas en ce moment sur ce côté de la question. Ce que nous venons de dire est un exposé que je crois exact de la situation de l'enseignement géographique dans la faculté de philosophie et lettres à l'Université de Gand, situation que j'ai lieu de supposer analogue, pour la même catégorie d'élèves, dans les autres universités du pays.

*
* *

A ce que nous venons de constater pour l'enseignement donné à nos futurs professeurs de géographie et pour leur préparation pédagogique, je vais opposer ce qui se fait dans les universités de langue allemande. Je choisis comme point de comparaison un Institut géographique bien outillé : celui de l'Université de Vienne. Plusieurs autres Instituts géographiques existent en Allemagne, et l'enseignement de cette branche y est donné par des hommes d'une haute compétence, qui se sont fait un nom dans la science; si je choisis celui de Vienne, c'est qu'ayant séjourné récemment dans cette ville pour des recherches que j'avais à faire au Musée impérial d'histoire naturelle, l'occasion s'est présentée pour moi de me rendre compte de l'organisation de cette école célèbre de géographie, de prendre des renseignements assez complets concernant l'enseignement oral et pratique qu'on y donne aux jeunes gens

Digitized by Google

appelés à devenir professeurs de géographie dans les gymnases; c'est aussi parce que, lié depuis longtemps avec le professeur Penck, qui est l'âme de cet Institut, je suis heureux de pouvoir rendre hommage au zèle et au talent déployés par ce savant (1). M'étant trouvé, durant des années, en rapport suivi avec les géographes anglais les plus éminents, je crois connaître assez bien la situation de l'enseignement de la géographie dans les universités anglaises. Mais tout en rendant hommage à l'étendue de leur savoir et en reconnaissant l'impulsion qu'ils ont donnée en Angleterre aux études géographiques, je ne pense cependant pas qu'on ait organisé ces études dans ce pays aussi bien qu'elles le sont à Vienne. Personne n'ignore les efforts considérables qu'on a faits en France pour relever l'enseignement de la géographie, et les résultats importants qu'on a obtenus; malheureusement, je ne connais pas d'une manière assez complète l'organisation de cet enseignement pour en parler avec compétence. A Vienne, au contraire, les circonstances que je rappelais à l'instant m'ont permis de me rendre parfaitement compte des installations et des travaux de l'Institut géographique dont je vais tâcher de donner une description complète. Si je m'arrête sur ce sujet, c'est que, tout étant à créer chez nous, il me paraît utile de montrer avec détail ce que nous devons imiter si nous voulons établir notre enseignement géographique sur des bases vraiment scientifiques et rationnelles.

Le fondateur de l'École de géographie de Vienne est Fr. Simony; dès son entrée comme professeur à l'Université, il traita la géographie en l'envisageant comme science naturelle. Déjà en 1851-1852, son cours comprenait les éléments de la géographie mathématique, l'orographie, l'hydrographie, la géographie botanique et zoologique, la géologie, et tenait compte, d'une manière constante, des relations qui unissent les divers phénomènes physiques de la Terre. Lorsque, plus tard, on établit un nouvel examen pour instituteurs et pour professeurs de gymnases, et que l'enseignement de l'histoire dut marcher de pair avec celui de la géographie, Simony eut à modifier le programme qu'il

(1) Outre les renseignements que M. Penck a eu l'obligeance de me donner et ceux non moins précieux que j'ai reçus d'un de mes anciens élèves, M. J. De Windt, qui a travaillé pendant un an à l'Institut de Vienne, j'ai puisé d'utiles indications, pour les pages consacrées à cet établissement, dans une notice publiée il y a quelques années par M. Penck, et dans laquelle il expose le plan et l'organisation de l'Institut qu'il venait de fonder. Voir *Geographische Abhandlungen herausgegeben von Prof. A. Penck*, V. I, 1891.

Digitized by Google

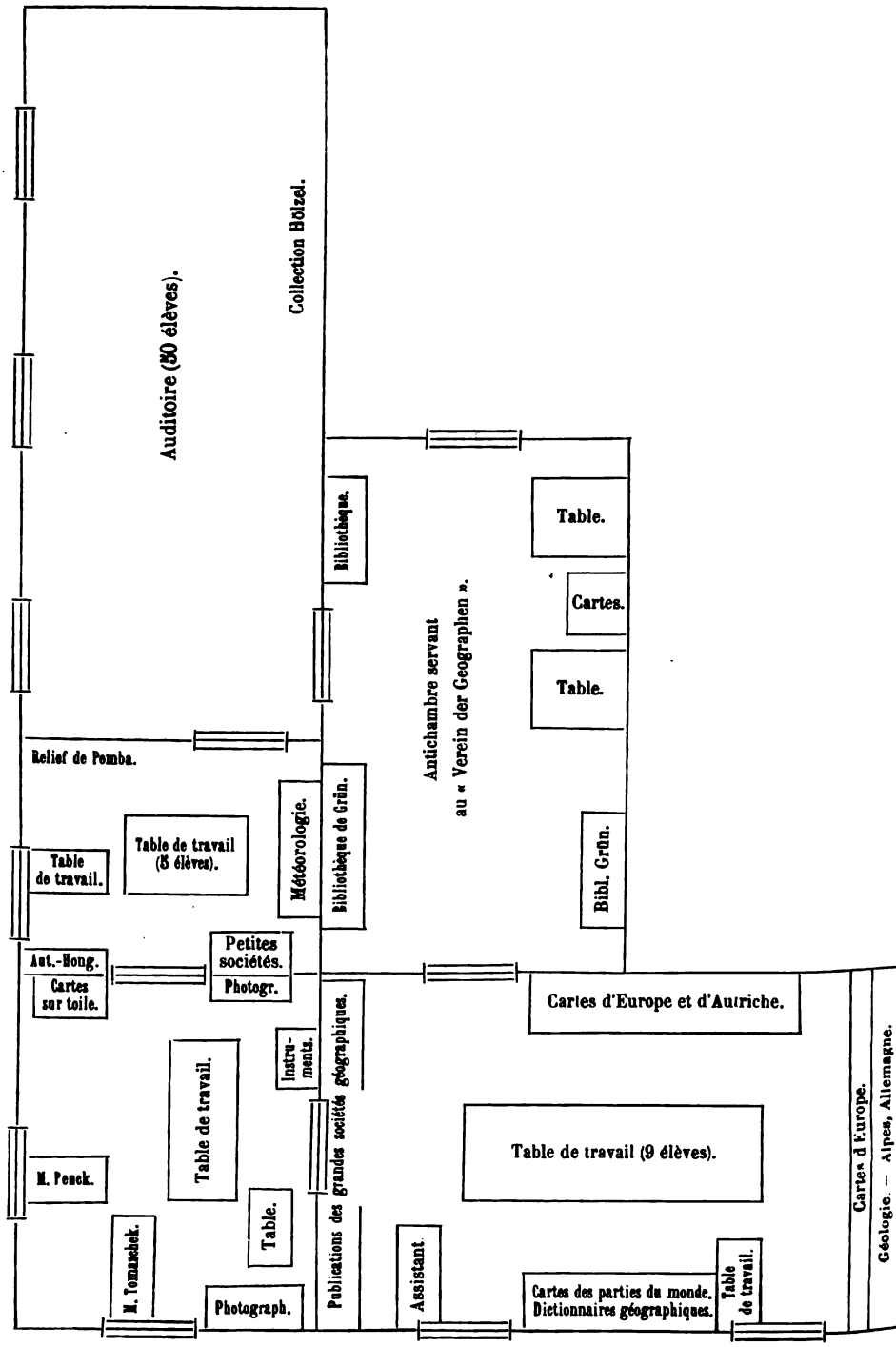
s'était primitivement tracé et le mit en harmonie avec cette disposition. Il se retira en 1885 et il proposa lui-même de diviser son cours. On créa une chaire de géographie historique, qui échut à W. Tomaschek, et une chaire de géographie physique, à laquelle fut appelé A. Penck. Comme je l'ai dit tout à l'heure, c'est surtout à ce dernier qu'on doit l'organisation de l'Institut de géographie.

L'Institut est installé dans la nouvelle Université et ses locaux forment un ensemble avec ceux occupés par les professeurs de géologie, de minéralogie et de paléontologie. Le croquis ci-joint, page 228, peut servir à donner une idée de la disposition des salles, et, mieux que toute description, il permet de se rendre compte de l'organisation du laboratoire. Grâce à des dons particuliers, parmi lesquels on doit signaler le legs fait à l'Institut par Simony de ses dessins, de ses livres et de ses cartes, à une subvention gouvernementale extraordinaire de 5,000 florins et à une dotation annuelle d'environ 600 florins, on a pu outiller parfaitement en cartes, en plans, en photographies, en livres et en instruments cette école dont nous allons exposer les méthodes de travail et indiquer quelques-uns des résultats scientifiques obtenus jusqu'ici.

Il est inutile d'insister sur l'importance des Instituts annexés aux cours universitaires; on sait que c'est à leur création, en ces dernières années, que sont dus en grande partie les progrès réalisés dans l'étude des sciences. Les travaux exécutés par les élèves dans ces laboratoires, les conduisent par le plus court chemin aux observations personnelles, ils les font profiter du savoir et de l'expérience du maître, ils leur apprennent la technique et les manipulations propres à chaque branche. C'est ce que M. Penck a tenté de réaliser pour la géographie : il a installé un *laboratoire de géographie* dans le vrai sens du mot, où les élèves se livrent sous l'œil du professeur à des recherches pratiques, et où la division du travail est poussée aussi loin qu'il est nécessaire. L'enseignement oral et pratique y est donné par des hommes de haute réputation, dont les noms sont universellement connus; nous allons les rappeler tout à l'heure, lorsque nous indiquerons les matières traitées durant le semestre d'hiver de l'an dernier, et l'horaire des cours dont elles ont fait l'objet.

En Autriche, comme aussi en Allemagne, l'enseignement universitaire complet de la géographie est de quatre années. Il comprend une série de leçons réparties sur les trois premières années; la quatrième

Digitized by Google



Digitized by Google

est consacrée plus spécialement à la préparation de la dissertation inaugurale exigée pour l'obtention du grade de docteur.

A l'Institut de Vienne, la géographie physique occupe le premier rang. M. Penck consacre à cette branche cinq heures de leçons par semaine durant toute l'année académique. Il répartit les matières de la manière suivante : la première année, il traite de la morphologie générale de la surface du globe et donne pendant la seconde année la géographie de l'Europe occidentale, centrale et septentrionale; enfin pour la troisième il choisit une matière plus spéciale : la géographie de l'Autriche-Hongrie, celle des Alpes, l'étude de leurs glaciers, etc. Quant à la géographie politique, trois heures par semaine lui sont consacrées; les matières suivantes ont été traitées dans ces cours pendant l'année qui vient de s'écouler : M. Tomaschek a exposé ce qui concerne la géographie politique de l'Asie et de l'Europe orientale, et M. Sieger a traité au même point de vue l'Afrique et l'Amérique du Sud.

Les cours dont nous venons de parler sont les cours fondamentaux, considérés comme ceux de géographie proprement dite. Quant aux cours facultatifs, suivis généralement par les étudiants qui se destinent d'une manière spéciale à la géographie, signalons en premier lieu ceux de Hann et de Trabert sur la météorologie, de Wähner et de Diener sur la géologie, ainsi que les leçons de Suess, Reyer et Waagen. Ces cours sont annuels, sauf ceux de Suess, dont la durée est de trois ans. Ajoutons que tous les élèves qui se destinent à l'enseignement suivent un cours de pédagogie d'une heure par semaine pendant un semestre.

Nous parlerons tout à l'heure des exercices pratiques, mais déjà nous pouvons faire remarquer combien cette simple énumération des matières ainsi que la durée relative des cours témoignent en faveur d'une tendance nettement prononcée à rapprocher la géographie des sciences naturelles. On constate, en particulier, la large part faite à la géographie physique et aux études se rattachant à la géologie; la raison s'en trouve dans les rapports qui unissent ces deux branches d'une manière tellement intime qu'il est souvent presque impossible de tracer les limites qui les séparent. Une autre raison de ce fait tient à ce que M. Penck est arrivé à la chaire de géographie après avoir, durant longtemps, fait de la géologie pratique, comme attaché au Service de la carte géologique de Saxe et de Bavière : il est entré dans la géographie en passant par la géologie, comme l'a fait aussi le plus illustre des géographes allemands, M. von Richthofen, son collègue à

Digitized by Google

l'Université de Berlin, dont les premiers travaux se rattachent à la géologie du Tyrol.

Voyons quels sont, outre les cours oraux dont il vient d'être question, les moyens dont on dispose à Vienne pour promouvoir les études géographiques. La tâche du professeur de géographie à l'Université ne serait pas remplie alors même que dans des leçons orales ou dans des conférences il aurait exposé d'une manière approfondie les principes de cette science et fait connaître les découvertes saillantes dans le domaine géographique; s'il se bornait à l'enseignement oral de cette branche, il ne serait pas à la hauteur de sa mission. Ainsi qu'on le fait pour les autres sciences naturelles et expérimentales, il doit apprendre à ses élèves comment il faut travailler pour découvrir. Qui donc s'imaginerait aujourd'hui connaître suffisamment pour les enseigner, la minéralogie, la chimie, la zoologie ou la botanique, s'il n'avait pas travaillé dans un laboratoire, s'il n'avait pas appris le maniement des appareils, si, en un mot, il ne s'était pas livré à des études pratiques telles qu'on les fait dans les laboratoires de recherches ou sur le terrain? Comme les branches que nous venons d'énumérer, la géographie a sa technique scientifique, et des manipulations qui lui sont propres. Pour devenir géographe on doit apprendre à les connaître, comme on doit apprendre à mettre en œuvre les documents et les matériaux d'une nature toute spéciale dont nous reparlerons tout à l'heure.

C'est pour répondre à ces nécessités de l'enseignement géographique que M. Penck a créé ses cours pratiques; en les organisant, il a accompli une tâche vraiment importante, en rapport direct avec la mission dont il est chargé. Il a atteint ainsi le but de l'enseignement supérieur : faire connaître l'ensemble des vérités scientifiques avec leur physionomie actuelle, fournir à ceux qui veulent se livrer au culte désintéressé de la science les connaissances exigées pour aborder les études approfondies, donner à ceux qui se destinent à l'enseignement les notions scientifiques nécessaires et la formation pédagogique indispensables pour remplir leur mission. Aux futurs savants, comme aux futurs professeurs, il ne faut pas seulement, je le répète, l'enseignement de la salle de cours, il faut que les élèves trouvent autour d'eux un milieu approprié où tout soit réuni pour leur inspirer le goût de la science qu'ils sont appelés à cultiver; il faut leur fournir les outils et les matériaux de travail, leur permettre de se livrer aux recherches

Digitized by Google

dans le calme réclamé par l'étude et leur faire voir, réalisée dans son ensemble, l'organisation qu'ils auront plus tard à donner à leur enseignement.

Rien de ce qu'on vient de dire n'a été perdu de vue par M. Penck lorsqu'il établissait son Institut. Les murs des divers locaux sont tapissés par les belles cartes de Hölzel, de Perthes et de Kiepert. Partout sous les yeux des élèves sont des vues représentant les aspects les plus saillants de la nature, et des panoramas, en particulier ceux des Alpes remarquablement dessinés par Simony. Afin de donner aux étudiants une idée aussi vraie que possible de la réalité, une riche collection de photographies leur permet de se familiariser avec les détails géographiques les plus caractéristiques des diverses régions du globe, et pour rendre l'enseignement aussi intuitif qu'on peut le souhaiter, on a réuni à l'Institut une collection de reliefs et de modèles, des tableaux graphiques relatifs à la météorologie ou à la statistique, des coupes et des profils géologiques, des collections de roches, etc.

Comme le montre le croquis du plan de l'Institut, la salle de cours n'occupe qu'une partie relativement restreinte des locaux; les salles de travail en forment la partie principale, et jusqu'aux appartements particuliers des professeurs ont été envahis par les élèves. Telle est leur affluence qu'on est obligé de les reléguer dans les salles de l'étage. En voyant les locaux occupés par ces jeunes gens au travail autour de leurs tables à dessiner, on a comme l'impression d'un vaste atelier de géographie. On ne pourrait mieux comparer ces salles qu'à celles où les élèves-ingénieurs exécutent leurs travaux aux Écoles spéciales de Gand. Chaque étudiant a sa place déterminée à une table; il dispose de tous les instruments nécessaires : règles, équerres, planimètres, pantographes, etc.

Les exercices auxquels ces jeunes gens se livrent se rapportent aux projections, aux constructions géographiques, à la géographie générale; ils dressent des cartes régionales, ils cherchent à fixer avec plus d'exactitude l'orientation des lignes de volcans, à tracer la marche des tremblements de terre, à déterminer la densité de la population, à établir la bathymétrie de certains lacs et le débit des cours d'eaux par des données nouvelles; ils complètent ou corrigent les isobathes des océans, ils reportent sur des cartes l'extension et la marche des glaciers, ils calculent des moyennes d'altitude pour une région donnée, ils déterminent la quantité de chaleur qu'elle reçoit, la répartition des pluies, la marche de l'érosion, etc. En un mot, les élèves se livrent pratiquement

Digitized by Google

à l'étude de tous les problèmes que comporte la science de la terre envisagée au point de vue géographique. Le professeur est présent à l'Institut, plusieurs heures chaque jour, dirigeant les travaux, enregistrant les résultats et guidant les recherches, comme le ferait un chef de travaux dans un laboratoire de chimie.

Les résultats obtenus par ces exercices pratiques et ceux qui amènent les recherches géographiques les plus récentes sont le sujet de conférences que les élèves se donnent entre eux, sous la présidence de M. Penck. Ces conférences ont une influence sérieuse sur la formation des futurs professeurs de l'enseignement moyen; ils y apprennent à exposer d'une manière didactique, en un langage scientifique approprié, les matières qu'ils auront à traiter devant leurs élèves. Chaque étudiant est appelé, plusieurs fois par an, à prendre la parole dans ces conférences qui sont hebdomadaires. Elles servent aussi à préparer les excursions géographiques dont je parlerai tout à l'heure.

Quoique l'Institut de M. Penck soit une admirable école pour la formation des jeunes professeurs et que le but pédagogique ne soit jamais perdu de vue, tout y est mis en œuvre aussi pour permettre aux élèves de se livrer à des études approfondies de géographie. C'est pour cette raison qu'on a réuni dans la bibliothèque non seulement tous les manuels scolaires et les ouvrages pédagogiques relatifs à notre science, mais toutes les grandes publications géographiques. Outre un ensemble considérable de travaux sur l'Autriche, on y trouve de nombreux ouvrages sur la géographie des diverses parties du monde, les lexiques géographiques, et les travaux des Sociétés de Paris, de Londres, de Berlin, de Vienne, de Halle, de Greifswald, de Leipzig, etc., ainsi que les publications périodiques qui sont indispensables pour suivre les progrès des sciences géographiques. Une partie des publications que nous venons d'énumérer est obtenue par voie d'échange contre celles du *Verein der Geographen*. Cette bibliothèque est installée à demeure à l'Institut même, elle est indépendante de la bibliothèque universitaire centrale : on a donc ces livres sous la main. Cet ensemble d'ouvrages constitue une collection précieuse de plusieurs milliers de volumes exclusivement consacrés, peut-on dire, à la géographie et aux sciences qui s'y rattachent.

Mais le département le plus riche et le plus remarquable de cette bibliothèque est sans contredit celui de la cartographie. Comme on doit s'y attendre, ce sont les cartes de la monarchie autrichienne qui sont le

Digitized by Google

mieux représentées; mais on est frappé du nombre considérable de cartes étrangères et de cartes générales, telles que celles de l'Amirauté, celles du Caucase, du Turkestan, de l'Inde anglaise, que comprend cette grande collection. Je ne crains pas de me tromper en affirmant que les belles cartes de notre État-major sont mieux représentées à l'Institut de M. Penck que dans certaines bibliothèques des cours de géographie des universités belges. On trouve dans cette vaste collection les cartes-types de chaque pays. Le professeur montre aux élèves le mode de reproduction adopté pour chacune d'elles, et les procédés d'exécution; il en fait ressortir la valeur scientifique et la discute. Afin qu'on puisse les consulter plus facilement pour les recherches, toutes les cartes sont libres, elles ne sont pas montées et on les conserve dans des tiroirs. La collection s'élève à environ cinq mille cartes auxquelles il faut ajouter près d'une centaine d'atlas.

Nous venons d'indiquer les ressources qu'offre l'Institut aux futurs géographes pour leur permettre de développer leurs connaissances, et aux futurs professeurs pour leur donner la formation pédagogique spéciale. L'enseignement oral confié à des maîtres éminents, les exercices pratiques, les conférences hebdomadaires, les riches collections de photographies et de cartes, la bibliothèque, sont des moyens incomparables d'acquérir la science, ce sont des sources où l'on peut puiser à pleines mains des connaissances géographiques approfondies; mais si l'enseignement oral et pratique donné à l'Institut de Vienne se bornait à ces leçons et à ces exercices, il se différencierait à peine de ce qui se fait ailleurs : tout au plus serait-il caractérisé par des développements plus grands donnés aux cours, et par des travaux pratiques parfaitement conduits et fréquentés avec une assiduité remarquable. J'ajoute même que toutes les méthodes suivies dans cet établissement géographique et dont nous avons parlé jusqu'ici se rapprochent beaucoup des méthodes de recherches historiques où l'observation directe de la nature ne trouve qu'une place très restreinte. Or, comme tout montre que c'est au groupe des sciences naturelles que la géographie, entendue dans son sens le plus large, se rattache, elle doit adopter les méthodes de recherches qui sont propres à ces sciences.

Il ne faut plus seulement des géographes de cabinet ou, ce qui ne vaut pas beaucoup mieux au point de vue scientifique, des voyageurs amis du pittoresque décrivant les villes, les monuments ou les beautés du paysage, il faut, pour faire des géographes, des hommes qui sachent

Digitized by Google

interroger la nature et qui, la voyant face à face, comprennent ses manifestations. Ils doivent pouvoir se repérer, construire les cartes de leurs voyages, observer et noter les phénomènes naturels, reconnaître la nature du sol, celle de la faune et de la flore, déterminer l'altitude, le climat d'une région, etc.

C'est pour donner à son enseignement le caractère qui convient aux sciences naturelles auxquelles il rattache sa science, que M. Penck a organisé des *excursions géographiques*. Ces courses scientifiques, durant lesquelles il met ses élèves en contact direct avec la nature, sont le trait propre de ses leçons. Durant ces excursions, les élèves s'exercent, sous sa conduite, à résoudre les problèmes géographiques que présentent les régions alpines ou les environs immédiats de Vienne. Ainsi que certains centres miniers ont offert aux études géologiques un champ admirablement préparé pour l'éclosion d'une école, témoin celle de Freiberg, en Saxe, Vienne est en quelque sorte un centre prédestiné aux études géographiques : les massifs montagneux et les plaines qui l'entourent, les nationalités diverses installées dans ses environs et qui se rencontrent à ses portes, les Alpes qui ferment l'horizon, offrent par la variété de leurs conditions physiques et ethnographiques, le plus puissant intérêt au géographe. Le grand cours d'eau qui traverse cette capitale invite ceux qui veulent étudier l'histoire d'un fleuve; et non moins intéressante est l'étude de cette contrée au point de vue des relations que présentent les faits politiques dont elle fut le théâtre, avec les formes du terrain.

Ce sont ces régions voisines de Vienne et les Alpes que M. Penck choisit surtout comme points d'exploration pour ses élèves. Il n'est pas sans intérêt, croyons-nous, de rappeler ici les excursions qu'il fit l'an dernier avec eux et les divers sujets d'étude qu'elles présentaient. Dans une première course au Kahlenberg et au Leopoldsberg, et passant par Klosterneuburg, le professeur fit voir quelles étaient les raisons géographiques et historiques qui avaient amené le développement de Vienne au pied des Alpes; il montra quels avantages découlent de cette magnifique situation à l'une des trois portes de communication entre l'Europe orientale et l'Europe occidentale. Il analysa les faits géographiques principaux de la région, notamment l'existence des deux bassins (Tullner Feld et Wiener Becken) et la brusque terminaison de la chaîne alpine (Wiener Wald). Une seconde excursion, également aux environs de la ville, a conduit les élèves à Pressbaum, à Heiligen Kreuz et dans la vallée de la Brühl. Cette course avait pour but principal d'étudier la région au point de vue hydrographique : de faire voir l'ancien dévelop-

Digitized by Google

pement des cours d'eau et leur développement actuel, et de suivre la formation du réseau hydrographique. La troisième course géographique dura quatre jours; elle fut consacrée à l'exploration de la vallée de l'Enns; elle avait été organisée pour montrer en détail les faits relatifs à la tectonique et à la morphologie de ce pays (terrasses, largeur du lit du fleuve en certains points, moraines, etc.). Elle se termina par une visite aux exploitations d'Eisenerz. Enfin la dernière excursion dura huit jours; M. Penck montra aux étudiants le Hohe Tauern, il leur fit voir en détail cette chaîne de montagnes si importante dans toutes ses relations: soulèvement du sol, creusement des vallées, érosions successives, glaciers, lacs de glaciers, moraines actuelles et anciennes, conditions atmosphériques.

On comprendra, après ce qui précède, quels avantages considérables les élèves doivent retirer de ces courses scientifiques. Le professeur les habitue à discerner les traits caractéristiques du sol, attire leur attention sur la végétation et sur ses rapports avec la nature des terres et des roches; il leur analyse les éléments du paysage topographique. On relève à la boussole la route parcourue, on prend la direction et l'inclinaison des couches de terrain, on réunit les données et les matériaux qui doivent servir aux exercices pratiques. Des mesures d'altitude et de température sont notées durant toute la course; on se livre, en un mot, aux observations qu'on ferait dans un voyage d'exploration en pays inconnu. Il paraîtrait à première vue que peu de chose reste à découvrir dans une contrée à civilisation avancée, comme l'Autriche, dont les cartes sont dressées avec un soin minutieux, et pourtant il est rare, dit M. Penck, que les élèves reviennent de leurs excursions sans observations nouvelles et sans les données encore inconnues de problèmes géographiques. Ces excursions sont facultatives, et cependant elles sont suivies par une trentaine d'étudiants (1).

Telles sont, en résumé, l'organisation de cet Institut et l'énumération des ressources mises à la disposition de la jeunesse studieuse : hâtons-nous d'ajouter qu'elle les utilise avec zèle.

Les élèves et les anciens élèves de l'Institut ont fondé une *Association des géographes de l'Université de Vienne* qui publie ses bulletins

(1) Pour permettre à des jeunes gens peu fortunés de suivre ces excursions, des bourses qui montent jusqu'à 30 florins leur sont accordées. Outre ces courses géographiques, les élèves suivent généralement celles dirigées par les professeurs de géologie. C'est ainsi qu'ils ont fait cette année des excursions géologiques aux environs de Vienne et jusque dans le bassin silurien de Bohême.

Digitized by Google

contenant des articles bien faits, écrits uniquement par ceux qui ont fréquenté les cours de cette école; les membres de cette association se réunissent tous les quinze jours. Ceci prouve combien l'impression donnée est profonde : les anciens élèves demeurent attachés à la science qui leur a été enseignée, et en continuant à s'y livrer, ils complètent leur instruction et suivent les progrès de la géographie.

Une preuve non moins évidente de l'importance des résultats obtenus par cet enseignement nous est fournie par les travaux sortis de l'Institut de Vienne et qui ont été publiés par les élèves. Ces mémoires sont nombreux et plusieurs d'entre eux portent le caractère d'œuvres vraiment scientifiques. Ils sont relatifs à l'orométrie, à la morphologie de la surface du globe, à la météorologie envisagée dans ses rapports avec la géographie, aux variations du niveau de certains lacs et de celui de la mer, à la densité de la population, à la température des fleuves de l'Europe centrale, etc. Dans cette énumération sommaire, je passe les nombreux travaux dont le professeur Penck a enrichi la science géographique, je ne rappelle ici que quelques-uns des mémoires écrits par ses élèves et qui font partie des publications de l'Institut. Un grand nombre de ces jeunes gens occupent aujourd'hui des chaires de professeur dans l'enseignement moyen et, grâce à leur formation et à leurs connaissances, on doit s'attendre à voir les sciences géographiques cultivées dans les gymnases autrichiens comme elles ne le sont peut-être dans aucun autre pays. Parmi les disciples de M. Penck, plusieurs se sont déjà acquis un nom respectable, et ils doivent à leurs études faites à l'Institut les positions scientifiques qu'ils occupent. Je cite : M. Heiderich, professeur de géographie à l'École d'agriculture de Vienne, M. Peucker, attaché à l'établissement cartographique d'Artaria, M. Swarowsky, chargé de travaux cartographiques au Ministère autrichien, M. Forster, auquel le comité de la Carte géologique internationale d'Europe a confié le levé des glaciers, etc. J'ajoute que la réputation de l'Institut de Vienne s'est bien vite étendue et qu'elle est universelle aujourd'hui; aussi voit-on des élèves étrangers, venus de toutes parts, y suivre les cours et les exercices pratiques.

* * *

Si j'ai insisté sur l'organisation de cet Institut, c'est pour mieux montrer l'exemple qu'à mon avis nous devons nous efforcer d'imiter, c'est pour indiquer comment on pourrait s'y prendre en Belgique pour relever le niveau des études relatives à la géographie. Il est inutile de

Digitized by Google

nous arrêter à faire ressortir combien nous sommes loin de ce qu'on fait, non seulement à Vienne, mais dans presque toutes les universités allemandes (1). Malgré l'infériorité de notre enseignement géographique, je suis cependant porté à penser que nous pourrions assez facilement le réorganiser dans les universités, de manière à donner à l'étude de cette science une impulsion sérieuse.

Deux solutions se présentent : **continuer à recruter les professeurs de géographie parmi les docteurs en philosophie**, ou bien **permettre aux docteurs en sciences minérales d'enseigner cette branche dans les athénées et les collèges.**

Envisageons d'abord la première solution : Les docteurs en philosophie continueraient à jouir du privilège d'être nommés professeurs d'histoire et de géographie dans l'enseignement moyen. Dans ce cas, il est indispensable de donner de grands développements aux leçons consacrées à la géographie et de remanier le programme des cours du groupe B (histoire) que nous avons reproduit plus haut, afin de permettre à ces étudiants d'acquérir une idée nette de toutes les parties de la géographie. Car, il faut bien le reconnaître, le seul enseignement obligatoire pour eux se rapporte à la géographie politique et à l'histoire de la géographie (2). **Or ces leçons ne portent que sur une partie de la science et n'en comprennent pas même les chapitres les plus importants.** C'est ce que nous allons montrer en analysant les éléments de la géographie telle qu'elle s'est développée durant ces dernières années, grâce au commerce, à l'industrie, aux moyens de communication, grâce surtout à ce noble désir de connaître qui pousse l'homme à étudier la terre, non seulement quant à ses formes de relief ou de contour, mais quant à son essence même et aux lois auxquelles elle est soumise.

L'histoire de la géographie nous montre, à ses débuts, cette branche du savoir présentant les caractères d'une science appuyée à la fois sur les mathématiques, sur l'étude de la nature et sur les rapports de

(1) On a reproduit en appendice le tableau des leçons de géographie données dans les universités d'Allemagne et d'Autriche durant le semestre d'hiver 1897-1898. Cette énumération montre l'importance qu'on y accorde à cette branche et la tendance *scientifique* qu'on lui imprime. Si quelques-uns des cours énumérés se rapportent à l'astronomie, c'est que le même professeur est chargé d'enseigner à la fois cette branche et la géographie mathématique.

(2) Quoique le programme porte simplement *géographie*, c'est bien de la *géographie politique* ou *historique* qu'il doit s'agir dans les leçons données aux élèves du doctorat en philosophie, groupe B.

Digitized by Google

l'homme avec le milieu physique qu'il habite. Aujourd'hui encore ces trois tendances caractérisent les études géographiques, et le remarquable développement des sciences d'observation auquel nous assistons n'a fait qu'accentuer davantage ces relations et que spécialiser diverses branches de la géographie; elles nécessitent ainsi, plus que jamais, une connaissance sérieuse des sciences connexes. On a dit, et c'est vrai, que la géographie est la plus emprunteuse des sciences et qu'elle est dans une dépendance continuelle des autres branches du savoir. Celles-ci, comme je le disais en commençant, ont des rapports tellement intimes avec la géographie qu'ils permettent à peine de tracer les limites qui séparent leurs divers domaines. C'est ainsi qu'il faut nécessairement traiter dans un cours universitaire des questions qui se rattachent directement aux sciences exactes : on doit exposer celles relatives à la forme et à la grandeur de la terre, aux méthodes employées pour obtenir ces données, étudier les phénomènes d'attraction et leur application à la détermination de la forme et de la densité du globe, se rendre compte des irrégularités de la surface terrestre et de la surface des mers, on doit enseigner les méthodes de projeter les cartes, etc. Or les problèmes que nous venons d'énumérer se rattachent intimement aux mathématiques, à l'astronomie et à la physique. Certes le géographe n'est pas obligé de se spécialiser dans cette matière astronomique et physique; mais il doit pouvoir la comprendre, saisir les résultats obtenus et les exposer avec précision devant ses élèves.

Mais s'il est une branche que doive posséder à fond le futur professeur de géographie et sur laquelle il doive concentrer tous ses efforts, c'est bien la *géographie physique*. Elle a pris aujourd'hui un si grand essor qu'elle tend à dominer tout le champ des études géographiques. Malheureusement, dans le programme du doctorat en philosophie dont il s'agit, elle est facultative alors qu'elle devrait être absolument obligatoire.

J'ajoute qu'elle ne peut être abordée avec fruit si l'on ne possède pas des notions sérieuses de sciences naturelles. Pour se rendre compte des rapports de la géographie physique avec ces sciences, il suffit de rappeler les diverses matières qu'elle comprend et que je vais indiquer sommairement.

Se borner aujourd'hui à une morphologie purement superficielle du globe n'est pas possible; on a des problèmes plus scientifiques à résoudre, et c'est ainsi qu'on étudie en géographie physique les conditions de température de l'intérieur de la terre, les hypothèses sur la

Digitized by Google

nature interne de notre planète, les phénomènes volcaniques et les tremblements de terre; on aborde les questions relatives au magnétisme du globe, aux propriétés générales de l'atmosphère, on expose les méthodes d'observation et de calcul de la météorologie et les lois de la climatologie; l'océanographie est traitée dans ses principaux détails, ainsi que l'hydrographie : la morphologie de la surface terrestre, l'anthropo-géographie et la répartition des animaux et des plantes constituent des chapitres importants de la géographie physique. L'énumération bien incomplète qu'on vient de lire montre d'une manière évidente les rapports de cette branche de la géographie avec les sciences naturelles; ces rapports ressortiront davantage encore quand nous aurons rappelé la position de la géographie vis-à-vis de la géologie.

Ainsi que je l'ai répété plusieurs fois, ces deux sciences sont étroitement unies; la plus grande autorité en ces matières, M. von Richthofen, dit que la géologie est le fondement sur lequel doivent s'édifier les connaissances géographiques. La géologie, on le sait, a surtout pour but de faire connaître l'histoire de la terre; la géographie, de décrire la surface actuelle de notre planète. Mais ces formes de surface sont mortes si on ne les rattache pas à celles de la terre durant les périodes géologiques et il est impossible de les comprendre sans faire intervenir dans leur étude la notion du passé, qui seule peut servir à en expliquer l'origine. Le géographe doit donc nécessairement posséder des connaissances en géologie, et celles-ci ne peuvent s'acquérir sans notions sur la nature et le mode de formation des roches, sur l'ordre dans la succession des couches ou des terrains, sur les êtres qui ont habité le globe durant les âges préhistoriques. Les connaissances géologiques réclamées pour le géographe doivent s'étendre, en outre, à la géologie dynamique, c'est-à-dire à l'étude des forces internes et externes qui produisent les mouvements de la croûte terrestre et les modifications de la surface.

Encore une fois, si le géographe ne doit pas être à même de faire des travaux spéciaux de géologie, de lithologie ou de paléontologie, il est indispensable qu'il connaisse suffisamment ces matières pour pouvoir s'aider des mémoires des géologues, comme il doit, d'une façon générale, pouvoir emprunter pour ses études les données que lui fournissent l'astronome, le physicien, le botaniste et le zoologue.

Nous venons de voir quelle vaste science est la géographie physique; or, **rien ou presque rien des matières qu'elle embrasse n'est enseigné aux jeunes docteurs, futurs professeurs de géographie**; tout au plus peuvent-elles être effleurées dans un cours facultatif.

Digitized by Google

Après ce que nous venons de dire, on n'hésitera pas à conclure qu'une modification du programme s'impose : il ne faut pas que la géographie physique reste facultative pour de futurs professeurs de géographie ou ne leur soit pas enseignée du tout; il faut que cette branche devienne obligatoire, ait un nombre de leçons en rapport avec son importance, et que les matières dont elle traite soient l'objet de travaux pratiques analogues à ceux de l'Institut de Vienne.

Mais comme la préparation des docteurs en philosophie est presque exclusivement littéraire, il leur sera difficile d'aborder ces études scientifiques. Je crois qu'ils ne pourront jamais les approfondir; tout au plus pourra-t-on leur donner des notions élémentaires exactes sur cette branche si importante, et si indispensable à ceux qui se livrent aux études géographiques. **Si l'on veut tenter de leur inculquer ces notions, il me paraît nécessaire d'instituer, pour les futurs professeurs de géographie, un cours obligatoire de géographie physique d'une durée de deux ans, et de quatre leçons par semaine.** Ce cours comprendrait, pour la première année, l'exposé des éléments de météorologie et de morphométrie (cartes, projections, mesures sur les cartes, etc.), et la géographie générale; pour la seconde année, il comprendrait l'étude de la géographie spéciale de l'Europe occidentale. **Des exercices pratiques seraient institués, au cours desquels l'élève aurait à préparer une dissertation sur un sujet de géographie. Ces exercices seraient obligatoires comme le cours de géographie physique et ils prendraient quatre séances par semaine.** On maintiendrait les cours de géographie et d'histoire de la géographie tels qu'ils sont donnés actuellement aux docteurs en philosophie, ainsi que les exercices pratiques sur la géographie qu'ils ont en candidature. Enfin le cours de cosmographie serait développé et obligatoire.

Par cette solution, on renforcerait d'une façon notable l'étude de la géographie pour les docteurs en philosophie, parmi lesquels on recruterait, comme on le fait maintenant, les professeurs d'histoire et de géographie des athénées. On n'établirait évidemment pas encore l'égalité entre ces deux branches, l'histoire serait certainement toujours avantagée, mais il y aurait une amélioration sensible pour l'enseignement de la géographie. — Le progrès serait incontestable; toutefois là n'est pas la réforme que je préconise et qui consisterait à choisir des docteurs en sciences naturelles comme professeurs de cette science dans les athénées, ainsi que je le dirai tout à l'heure.

Cependant, s'il fallait continuer à confier à des historiens les cours de géographie dont il s'agit, le développement donné aux leçons de cette

Digitized by Google

science ne serait pas sans influence, ainsi qu'on l'a souvent fait ressortir, sur la préparation de ceux qui sont appelés à enseigner l'histoire. Ils comprendraient mieux les rapports qui unissent l'homme au sol qu'il habite, et l'influence du milieu physique sur la destinée des peuples. Ils pourraient vivifier leurs leçons d'histoire par la reconstitution exacte des lieux où se sont déroulés les événements; ils connaîtraient mieux la nature du sol, ses formes, sa végétation et ses produits, et tant d'autres facteurs dont l'historien doit tenir compte. Les faits qu'ils exposeraient se graveraient plus profondément dans l'esprit quand ils seraient présentés dans leur cadre naturel. L'histoire des traités, des luttes des peuples, de la marche des armées, le développement industriel et commercial d'un pays s'éclaireraient davantage si on les envisageait au point de vue où peut se mettre le professeur qui possède des connaissances géographiques sûres et étendues. Il pourrait se rendre compte, d'une manière plus adéquate, des causes et de la marche des migrations, des mœurs, du degré de civilisation et du caractère de cette civilisation, qui sont étroitement liés au sol natal. Si l'homme va maîtrisant de plus en plus la nature, les recherches récentes nous montrent, avec plus d'évidence que jamais, qu'il en subit encore l'influence dans une large mesure, et l'historien saura d'autant mieux tenir compte de cette vérité qu'il connaîtra mieux la nature.

Non seulement l'enseignement de la géographie physique est important pour l'historien, mais je maintiens qu'il est impossible au jeune docteur en philosophie de suivre avec fruit un cours d'histoire de la géographie s'il ne connaît pas le côté scientifique de cette branche. Comment, sans notions précises de géographie mathématique et physique, se rendra-t-il compte des doctrines géographiques de l'antiquité? Parmi les géographes grecs, les plus célèbres doivent être commentés par les sciences exactes; les découvertes des géographes arabes et de ceux de la Renaissance et des temps modernes sont comme imprégnées d'astronomie, de physique et d'histoire naturelle.

Mais quoi qu'il en soit de l'importance d'une étude approfondie de la géographie scientifique pour la formation de professeurs d'histoire, il n'en reste pas moins vrai que pour préparer des jeunes gens à donner à la fois des cours d'histoire et de géographie, il faut que l'enseignement de cette dernière branche ne reste pas un leurre; il faut lui accorder l'importance à laquelle elle a droit, tenir compte des difficultés qu'elle présente et lui faire une part sérieuse dans les heures de leçons; il faut surtout que la géographie physique soit une branche

Digitized by Google

obligatoire et que des exercices pratiques institués en tenant compte des exigences de la science moderne viennent en compléter l'étude.

Car peut-on, de bonne foi, aborder l'enseignement de la géographie quand on ignore comment on dresse une carte géographique, quand on ne connaît pas d'une manière précise et exacte les lois générales qui régissent les mouvements de la terre, quand on ne peut se rendre compte de sa position dans l'espace, ni des forces qui agissent sur elle, quand on ne sait pas le premier mot de son histoire, sauf ce qu'on en a lu dans des ouvrages de vulgarisation, quand on ignore comment la croûte terrestre s'est formée, quand on ne saurait distinguer et nommer les pierres qui constituent le sol, ni expliquer l'origine d'un lac, d'une vallée, la marche d'un fleuve, ni la manière dont s'établit un désert, quand on ne connaît pas même les principes élémentaires de l'océanographie, et les notions relatives aux déplacements des lignes côtières, à la répartition des plantes et des animaux, quand on n'a pas étudié les questions qui se rattachent à l'ethnographie? Or je crois ne pas me tromper en affirmant que toutes les matières que je viens d'indiquer ne sont pas enseignées aux docteurs en philosophie et lettres : **il serait impossible, du reste, qu'il en fût autrement avec le petit nombre de leçons consacrées à notre branche.** Et notons bien que, outre la géographie physique générale dont je viens d'énumérer quelques chapitres, il reste encore la géographie physique et topographique des diverses régions du globe, il reste les questions relatives à la densité et au mouvement de la population, aux productions minérales et agricoles, au commerce, à l'industrie, aux voies de communication, etc., sans compter la géographie politique et l'histoire de la géographie. Or ces deux dernières branches seulement sont enseignées.

On a le droit de demander que les jeunes gens auxquels est accordé le privilège d'être choisis, à l'exclusion des autres, comme professeurs de géographie, en connaissent au moins toutes les parties essentielles. Mais je crains bien que les docteurs en histoire ne parviendront pas à les acquérir sans grands efforts, **faute d'une préparation scientifique suffisante.** Il faudrait, en effet, augmenter considérablement le nombre d'heures consacrées à la géographie, ajouter au programme l'enseignement obligatoire de la géographie physique avec tous ses développements essentiels, celui de la géologie, de la paléontologie, de l'histoire naturelle dans ses rapports avec la géographie : les élèves devraient se livrer à des travaux cartographiques, etc. Il faudrait, en un mot, qu'au point de vue de l'extension des cours, la géographie fût mise autant que possible sur le même pied que l'histoire. Dans ces condi-

Digitized by Google

tions, les intérêts légitimes des études historiques seraient-ils sauvegardés? Le cadre de l'enseignement à donner à ces jeunes docteurs en philosophie pourrait-il s'élargir dans les proportions considérables que réclament les progrès des deux branches?

*
* *

Ces considérations nous paraissent conduire forcément à conclure que, contrairement à ce qu'on a fait jusqu'ici dans notre pays, **l'enseignement de l'histoire et celui de la géographie ne devraient pas être confiés au même professeur** (1). A l'Université, on formerait pour les

(1) On objectera qu'à Vienne, dont j'ai représenté l'enseignement géographique comme le type que nous aurions à imiter, cette séparation entre la géographie et l'histoire n'est pas faite : les élèves étudient en même temps les deux branches. Mais il existe entre les universités belges et allemandes des différences nombreuses et essentielles quant à l'organisation de l'enseignement, différences dont il faudrait tenir compte pour bien apprécier la question. Ce n'est pas le lieu de les exposer ici et je me borne à dire que si les cours de géographie et d'histoire sont confiés à un seul professeur dans les gymnases de langue allemande, les inconvénients qui résultent de cette disposition ne sont pas aussi graves que chez nous. On le comprendra aisément si l'on se rappelle que les élèves des gymnases n'arrivent à l'université qu'après des humanités plus longues que les nôtres, après un examen d'entrée, avec des connaissances plus complètes, en particulier avec des notions de mathématiques, de physique et d'histoire naturelle plus approfondies que celles qu'on donne en Belgique dans l'enseignement moyen. En outre, les cours universitaires d'histoire et de géographie ont en Autriche et en Allemagne une durée moyenne de quatre ans, donc double de celle que nous consacrons à ces branches. Cependant, de l'avis des professeurs compétents, en particulier de M. Penck, on devrait séparer l'enseignement de l'histoire de celui de la géographie. Ce savant m'affirmait récemment que, à Vienne du moins, il est bien difficile, sinon impossible, pour un élève, de suivre à la fois avec fruit les cours donnés sur chacune de ces branches. Il ajoutait que peu de temps après l'entrée à l'Université, les vocations se dessinaient, que les uns s'adonnaient plus spécialement à la géographie, et les autres se livraient surtout aux études historiques, et que, en général, parmi ses élèves, les meilleurs historiens étaient les plus mauvais géographes, et réciproquement. — En attendant qu'une solution radicale intervienne, on admet dans cette Université un *modus vivendi*. Comme il est impossible, ainsi que je viens de le rappeler, de fréquenter à la fois les cours de tous les professeurs de géographie ou ceux de tous les professeurs d'histoire, et que l'assistance à un cours déterminé n'est pas obligatoire, les étudiants suivent ceux qui leur paraissent les plus utiles, et se règlent d'après leurs goûts dans le choix des matières qu'on leur enseigne. A la fin de leurs études, ils présentent une dissertation qui porte sur l'histoire ou sur la géographie; si cette thèse est admise, ils ont à subir l'épreuve orale devant deux jurys dont l'un interroge le récipiendaire sur la géographie, l'autre sur l'histoire. Si la dissertation est faite avec soin, si elle présente le caractère d'une œuvre sérieuse, les examinateurs ne se montrent pas trop exigeants. Il résulte de ce que je viens de dire que, à Vienne, la séparation des études géographiques et historiques est établie, sinon

Digitized by Google

athénées royaux et pour les collèges des professeurs d'histoire recrutés parmi les docteurs en philosophie, qui continueraient, comme ils le font aujourd'hui, à étudier cette branche d'une manière approfondie, et des professeurs de géographie choisis parmi les docteurs en sciences minérales qui s'appliqueraient surtout aux études relatives à cette science. Les raisons qui portaient autrefois à confier à un même professeur l'enseignement de la géographie et de l'histoire n'existent plus, ces deux branches n'ayant plus aujourd'hui tous les points de contact qu'elles avaient autrefois, alors que la géographie était essentiellement historique. Si l'on se décidait à modifier les programmes dans le sens que je viens d'indiquer, c'est-à-dire si l'on séparait l'enseignement des deux branches et si l'on recrutait les professeurs de géographie parmi ceux qui auraient spécialisé cette science à l'Université, on aurait, à mon avis, réalisé un progrès considérable.

La réforme que je propose consisterait **à décider que désormais les professeurs chargés de donner la géographie dans l'enseignement moyen seraient choisis parmi les docteurs en sciences minérales**, ceux-ci étant mieux à même d'acquérir l'ensemble des connaissances géographiques que les docteurs en philosophie et que les docteurs en sciences naturelles d'autres catégories.

La raison qui dicte cette solution ressort nettement de ce que nous avons exposé plus haut, à savoir que les élèves de la faculté de philosophie ne possèdent pas les notions scientifiques réclamées par les études de géographie physique et des branches connexes, tandis que les docteurs en sciences sont naturellement préparés à aborder l'étude de cette branche, dans laquelle tend à se concentrer, peut-on dire, la géographie actuelle. Cette mesure viendrait donner aux études géographiques le fondement scientifique qu'elles réclament. Alors que les étudiants de la faculté de philosophie et lettres n'ont d'autres notions de physique et d'histoire naturelle que celles, souvent trop élémentaires, qu'on leur a données durant les humanités, ceux de la faculté des sciences ont reçu à l'université même le complément de connaissances exigées pour aborder la science géographique. Durant la prépa-

formellement, au moins matériellement, qu'elle existe en fait, et que les futurs professeurs sont en quelque sorte poussés par la force des choses à se spécialiser dans l'une ou l'autre des branches dont il s'agit. Mais, je le répète, il est dans les vœux des meilleurs géographes que j'ai eu l'occasion de consulter, de séparer davantage encore l'enseignement de la géographie de celui de l'histoire, et de ne conserver entre ces deux enseignements qu'un point de contact : la géographie historique.

Digitized by Google

ration de la candidature en sciences, ils ont appris en physique à connaître les lois générales de la nature, en chimie les faits qui se rapportent à la composition des êtres inorganiques et organisés, ils ont suivi des cours de minéralogie et de géologie, ils ont eu à étudier les premières notions de géographie physique qui peuvent servir comme d'introduction aux études approfondies sur cette matière. Non moins importantes sont les leçons qui leur ont été données sur la botanique et la zoologie, en particulier celles qui sont consacrées à la répartition géographique des plantes et des animaux.

Toutes ces matières de la candidature en sciences naturelles sont indispensables à celui qui veut devenir géographe; leur étude est une préparation immédiate à celle de la science de la Terre, et elles manquent absolument au programme des cours de la faculté de philosophie et lettres.

Après deux années passées en candidature, le futur professeur de géographie devrait commencer ses études spéciales. On sait que, d'après la loi de 1890, il existe, pour les sciences naturelles, des doctorats spéciaux en sciences chimiques, botaniques et minéralogiques. Il est bien évident, à moins qu'on ne crée un doctorat en sciences géographiques, que les élèves dont il s'agit devraient suivre les cours du doctorat en sciences minérales. Outre que la géographie physique est une branche importante parmi celles sur lesquelles porte l'examen pour le doctorat, la géologie, la lithologie, la minéralogie, la paléontologie animale et végétale, matières du même examen, doivent être connues de tout géographe (1).

Parmi ces élèves, ceux qui spécialiseraient la géographie suivraient les cours qui viennent d'être énumérés; seulement, la géographie physique recevrait de grands développements ainsi que les exercices pratiques obligatoires sur cette branche; tous les moments que les cours laisseraient libres seraient consacrés à ces travaux. On pourrait

(1) Il est évident que si la réforme proposée était admise, le cours de géographie physique suivi actuellement par les élèves du doctorat en sciences minérales devrait être développé. Aujourd'hui, dans l'enseignement que je donne à ces étudiants, j'envisage cette branche en me plaçant surtout au point de vue des sciences géologiques qu'ils spécialisent. Comme ils n'ont pas d'issue du côté de l'enseignement de la géographie dans les athénées ou les collèges, je traite cette matière comme une introduction à la géologie, à peu près comme le fait M. de Lapparent dans ses *Leçons de géographie physique*. Ce livre n'est pas un traité de géographie physique proprement dit; on n'y trouve exposés que certains chapitres de cette science dans ses rapports avec l'histoire de la terre. Cet ouvrage, comme l'auteur lui-même le fait remarquer, aurait tout aussi bien pu être intitulé : *Leçons sur la genèse des formes géographiques.*

Digitized by Google

exempter les élèves de cette catégorie de suivre la chimie analytique et la cristallographie, qui n'ont pas d'importance immédiate pour le but à atteindre. On exigerait, en outre, que leur thèse doctorale traite d'un sujet relatif à la géographie.

Toutefois il manquerait à la formation complète des futurs professeurs, recrutés comme il vient d'être dit, un cours de *géographie historique ou politique*. Ce cours existe pour le doctorat en philosophie; les jeunes gens qui se destinent à enseigner la géographie devraient le suivre, et on lui donnerait les développements nécessaires.

On ne peut considérer le cercle des connaissances géographiques comme fermé, si l'élément historique ou politique n'est pas représenté dans l'ensemble des cours consacrés à cette science. Sans entrer dans de longs développements à ce sujet, bornons-nous à dire que la géographie politique a son but nettement déterminé, et distinct de celui de la géographie physique. Tandis que celle-ci considère exclusivement la morphologie de la surface terrestre et les agents qui la modifient, la géographie politique ne sépare pas la description du sol des notions sur le peuple qui l'habite et sur l'organisation politique et sociale de ce peuple. Le pays tel que l'ont constitué les seuls agents naturels est envisagé par elle comme le champ d'action de l'homme. Ce pays avec ses montagnes, ses plaines, ses fleuves, les mers qui le bordent, c'est le cadre; le peuple qui le cultive, y construit des villes, y trace des voies de communication, y a fondé une société, c'est le tableau. Dans l'étude successive des diverses parties de la terre, la géographie physique étudie séparément chaque région naturelle. La géographie politique, au contraire, envisage surtout les divisions de territoire créées par l'homme; les États, les fractions de territoire doivent servir de base aux divisions et aux classifications qu'elle établit.

A ce rapide aperçu des méthodes propres à chacune de ces branches, ajoutons l'énumération des matières enseignées dans le cours de géographie politique; on verra qu'elles sont différentes de celles dont nous avons parlé jusqu'ici. Les leçons de géographie politique, en effet, doivent envisager la description des États renfermés dans leurs limites respectives, elles doivent faire connaître les populations qui les habitent. Cette description du territoire doit comprendre sa situation, ses limites, son étendue, ses cours d'eau, ses lacs, le développement et l'aspect du littoral, le climat, la faune et la flore; elle doit comprendre aussi la population, sa distribution, sa densité, son commerce, son industrie, la répartition des richesses. Les villes et les ports, les voies

Digitized by Google

de communication, les races, les langues, la nationalité, la religion, les mœurs, le caractère, le développement intellectuel, la littérature, les traits essentiels de l'organisation sociale et de l'organisation politique, etc.

L'importance de ce cours saute aux yeux rien que par l'énumération qu'on vient de lire. Il faudrait donc que les futurs professeurs, s'ils se recrutaient parmi les docteurs en sciences, fussent obligés de se livrer à des études de géographie politique; un cours de géographie politique existe dans la faculté de philosophie, les futeurs professeurs n'auraient qu'à le suivre, seulement il serait nécessaire qu'on le développât davantage, comme il a été indiqué plus haut. La nécessité d'un cours de géographie historique ou politique s'impose comme le couronnement des études de cette science. C'est l'avis de von Richthofen, que je tiens à citer en terminant cette notice. Après avoir montré que dans la hiérarchie des sciences la géographie occupe en quelque sorte une position centrale, le célèbre professeur de Berlin ajoute que « cette branche reliant ainsi diverses connaissances exerce sur la culture de l'esprit une influence d'autant plus bienfaisante que les tendances intellectuelles paraissent aujourd'hui s'écarter davantage. Les méthodes exactes des sciences de la nature conduisent aisément à une dépréciation de la tendance idéaliste, qui est le caractère le plus marquant des études historiques. Aucune branche des sciences ne représente mieux que la géographie les deux tendances dont il s'agit. A mesure que, de nos jours, on tient compte de plus en plus de la direction scientifique réaliste imprimée à cette science par Alexandre de Humboldt, à mesure aussi brille davantage le mérite de Ritter, qui a provoqué, peut-on dire, la tendance idéaliste. Ce sont ces deux courants qui ont fait la géographie moderne. »

Ce que je viens d'écrire est inspiré par le désir sincère que j'ai de voir se relever cette branche importante; il est grand temps, à mon avis, de remanier les programmes de l'enseignement de la géographie dans nos universités, afin de donner une formation plus complète aux futurs professeurs de géographie de l'enseignement moyen. Puissent les observations qui précèdent contribuer à atteindre ce but.

Digitized by Google

APPENDICE (1)

Leçons de géographie données dans les universités d'Allemagne et d'Autriche durant le semestre d'hiver 1897-1898.

Berlin.

Prof. KIEPERT. — Histoire de la cartographie.

Prof. FORSTER. — Détermination des coordonnées géographiques.

Prof. VON RICHTHOFEN. — Géographie coloniale et commerciale. — Conférences géographiques.

Prof. VON BEZOLD. — Météorologie générale. — Exercices pratiques de météorologie. — Conférences sur la météorologie.

Prof. HELMERT. — Détermination de la figure de la terre.

Prof. BAUSCHINGER. — Les planètes. — Les théories anciennes de la mécanique céleste.

Dr GLAN. — Météorologie.

Dr WEINSTEIN. — Géophysique.

Dr ASMANN. — Principes de météorologie et de climatologie. — Instruments et observations météorologiques.

Dr LUSCHAN. — Les peuples de l'Afrique du Sud. - Exercices sur l'anthropologie. — Exercices sur l'ethnographie.

Dr DOVE. — Région de la Méditerranée.

Dr MARCUSE. — Théorie des instruments astronomiques.

Dr KRETSCHMER. — Cartographie et histoire de la cartographie.

Bonn.

Prof. KÜSTNER. — Étoiles fixes. — Détermination de l'orbite des planètes et des comètes.

Dr REINHERTZ. — Levés topographiques et géographiques en cours de route.

Dr RAUFF. — Formation des Alpes.

Dr MÖNNICHMEYER. — Mécanique céleste. — Détermination des coordonnées géographiques.

Dr PHILIPPSON. — Géographie des pays de civilisation ancienne.

Breslau.

Prof. PARTSCH. — Séminaire de géographie. — Géographie physique. — Géographie des Alpes.

Prof. FRANZ. — Calcul de l'orbite des planètes et des comètes.

Erlangen.

Prof. PECHUEL-LOESCHE. — Ethnographie. — Exercices géographiques.

(1) Voir note, page 237.

Digitized by Google

Fribourg en Brisgau.

Prof. Neumann. — Géographie générale. — Géographie des régions méditerranéennes. — Géographie des colonies allemandes. — Séminaire géographique.

Prof. Grosse. — Ethnographie. — Exercices ethnographiques.

Giessen.

Prof. Sievers. — Introduction générale à la géographie. — Géographie générale. — Exercices géographiques.

Göttingen.

Prof. Wagner. — Géographie de l'Asie. — Exercices géographiques.

Dr Ambronn. — Géophysique. — Astrophysique.

Greifswald.

Prof. Credner. — Géographie physique. — Géographie des régions méditerranéennes. — Exercices géographiques.

Prof. Holtz. — Météorologie et phénomènes atmosphériques lumineux.

Prof. Deecke. — Phénomènes volcaniques.

Dr Brendel. — Astronomie théorique. — Théorie des petites planètes.

Halle.

Prof. Kirchhoff. — Nouvelles découvertes géographiques et ethnographiques. — L'Europe (sauf l'Europe centrale). — Répétitions de géographie politique. — Séminaire de géographie.

Prof. Wangerin. — Chapitres choisis de la mécanique céleste.

Dr Heinemann. — Géographie historique de l'Allemagne.

Dr Ule. — Géographie de l'Australie et de l'Amérique. — Dessin des cartes et préparation d'objets de démonstration pour l'enseignement de la géographie.

Iéna.

Prof. Regel. — Géographie de l'Europe. — Exercices géographiques.

Dr Knopf. — Détermination de l'orbite des planètes.

Kiel.

Prof. Krümmel. — Géographie générale I. — Conférences géographiques.

Dr Ebert. — Constitution physique du soleil.

Königsberg.

Prof. Hahn. — Océanographie. — Ethnographie générale et spéciale. — Exercices géographiques.

Prof. Struve. — Éléments d'astronomie. — Détermination de l'orbite des planètes et des comètes.

Dr Jentsch. — Cartes géologiques.

Dr Rahts. — Géodésie.

Leipzig.

Prof. Ratzel. — Introduction à l'étude de la géographie (méthodologie, géogénie). — Anthropogéographie. — Géographie de la France. — Problèmes de la géographie physique. — Exercices et séminaire géographiques.

Prof. Hettner. — Géographie physique (hydrographie et climatologie). — Aperçu comparatif des colonies européennes. — Exercices géographiques.

Dr Hassert. — Géographie de l'Asie Mineure. — Fondation des colonies. — Exercices géographiques (volcans, tremblements de terre).

Dr Eckert. — Exercices de dessin de cartes. — Méthodes de l'enseignement géographique.

Digitized by Google

Münich.

Prof. OBERHUMMER. — Géographie de l'Asie. — Géographie des régions polaires et des îles océaniques. — Régions de protectorat allemand. — Explication de quelques chapitres géographiques de Xénophon, d'Arrien, de Moltke et de Carl Ritter.

Prof. SEELIGER. — Mécanique céleste. — Conférences géographiques.

Prof. RANKE. — Anthropologie des peuples aborigènes. — Exercices anthropologiques.

Dr ERK. — Prévisions météorologiques. — Observations scientifiques en cours de voyage.

Dr NAUMANN. — Géographie et géologie de l'Orient. — Exercices pratiques de géographie.

Dr ANDING. — Détermination des coordonnées géographiques.

Dr BERGEAT. — Volcans et volcanisme.

Münster.

Prof. LEHMANN. — Introduction générale à la géographie. — Géographie de l'Allemagne du Sud et des Alpes. — Géographie de l'Amérique du Sud. — Géographie physique générale (chapitres choisis).

Rostock.

Prof. GEINITZ. — Géographie physique.

Strasbourg.

Prof. GERLAND. — Géographie de l'Amérique. — Tremblements de terre et volcans. — Séminaire géographique. — Développement de la société humaine.

Dr KOBOLD. — Introduction à la géodésie.

Czernowitz.

Prof. LÖWEL. — Géographie mathématique.

Gratz.

Prof. RICHTER. — Géographie de l'Asie. — Origine des formes de la surface terrestre. — Exercices géographiques.

Prof. HANN. — (Le sujet des cours sera annoncé ultérieurement.)

Innspruck.

Prof. BLAAS. — Géogénie et formes du relief terrestre.

Prague.

Prof. WEINEK. — Détermination de l'orbite des planètes et des comètes.

Prof. LENZ. — Géographie physique. — Anthropogéographie. — Exercices géographiques.

Vienne.

Prof. TOMASCHEK. — Géographie de l'Afrique. — Histoire de la géographie. — Exercices pour les candidats de l'enseignement supérieur.

Prof. PENCK. — Géographie mathématique. — Chapitres choisis de la géographie politique. — Séminaire géographique. — Exercices géographiques.

Prof. PERNTER. — Météorologie

Dr PAULITSCHKE. — Ethnographie de l'Amérique. — Découvertes nouvelles en ethnographie.

Dr HABERLANDT. — Ethnographie.

Dr TRABERT. — Orages. — Prévisions météorologiques.

Dr SIEGER. — Géographie des expéditions polaires. — Discussion des publications sur l'anthropogéographie.

Prof. DIENER. — Constitution géologique des pays de la monarchie austro-hongroise.

Prof. SUESS. — Description de la surface terrestre.

Digitized by Google

DE LA

FORMATION DES CAVERNES

PAR

X. STAINIER

DOCTEUR EN SCIENCES NATURELLES,
PROFESSEUR DE GÉOLOGIE A L'INSTITUT AGRICOLE DE L'ÉTAT,
MEMBRE DE LA COMMISSION DE LA CARTE GÉOLOGIQUE.

(Mémoire présenté à la séance du 12 janvier 1897.)

Depuis quelques années, les *Bulletins* de notre Société ont publié de longues et intéressantes discussions sur la circulation de l'eau dans les calcaires. Ces discussions ont eu comme complément une grande excursion entreprise dans les régions calcaires du Condroz, et spécialement dans les célèbres grottes de cette région. Cette excursion nous a valu plusieurs importants travaux, notamment : le compte rendu de l'excursion, par M. J. Willems; l'étude des cavernes de la région Han-Rochefort, par M. É. Dupont; enfin une étude critique de M. Flamache sur la formation des cavernes.

Quoique ne partageant nullement les opinions émises par M. Flamache, je ne saurais assez le féliciter d'avoir publié les objections que lui avait suggérées l'étude des théories généralement admises. Quant aux idées nouvelles qu'il a exprimées, quel que soit le sort qui leur sera

Digitized by Google

réservé, elles auront toujours eu ce grand avantage d'appeler l'attention et de susciter la discussion sur les points obscurs ou douteux que présentent les hypothèses émises sur la formation des cavernes.

La note critique de M. Flamache (1) a déjà été l'objet d'une vigoureuse réplique de la part de M. E. Van den Broeck (2) et de M. O. Lang (3).

Partisan convaincu de la formation des cavernes par voie de dissolution chimique agissant comme force *principale*, je crois devoir ajouter ici quelques considérations à celles que mes honorables devanciers ont déjà présentées. Il ne s'agit donc ici que d'un travail en quelque sorte complémentaire.

Dans sa note, M. Flamache a demandé formellement que, dans l'examen de ses idées, on sépare nettement les critiques qu'il adresse aux théories généralement admises des hypothèses nouvelles qu'il expose. Pour me conformer à ce désir bien naturel, je diviserai mon travail en deux parties. Dans la première, j'essayerai de prouver que les hypothèses nouvelles de M. Flamache ne sont pas admissibles et dans une seconde partie, je montrerai que les critiques émises par M. Flamache sur la théorie de la formation par voie de dissolution ne sont pas fondées en principe.

PREMIÈRE PARTIE.

Dans sa communication précitée, M. Flamache formule nettement sa pensée. Pour lui, les grottes, les aiguigeois, les cavités souterraines en un mot, ont été creusées mécaniquement, par les mêmes causes et les mêmes lois que les vallées à l'air libre. Au moyen d'un certain nombre de diagrammes, il explique clairement sa manière de voir : par suite des pressions que créent les différences de niveau, les eaux superficielles pénètrent dans les fissures, remplies d'argile, du calcaire, déblaient d'abord ces fissures, puis, continuant leur action mécanique

(1) *Bulletin de la Société belge de géologie*, t. IX, 1895, p. 355, Mém.
(2) *Ibidem*, t. IX, p. 368, Mém.
(3) *Ibidem*, t. XI, p. 191, Mém.

Digitized by Google

sur les parois du canal ainsi formé, donnent naissance aux cavités que nous connaissons.

Pour nous, il est évident qu'en formulant sa théorie, M. Flamache a été fortement impressionné par deux faits au cours de l'excursion précitée. Quand on voit le trou Maulin, à Rochefort, encombré de cailloux roulés, quand dans les profondeurs de la grotte de Han on entend mugir la Lesse, il semble difficile de se soustraire à l'idée qu'il se produit là un travail mécanique considérable. De là à formuler une théorie mécanique, il n'y a qu'un pas. Voyons maintenant à la lueur de quelques faits ce qu'il en est.

1° Nous allons d'abord examiner le cas classique choisi comme exemple par M. Flamache et, au moyen de la brutale évidence des chiffres, il nous sera facile de montrer que dans les conditions qu'il présuppose, rien, absolument rien de ce qu'il indique ne doit se produire.

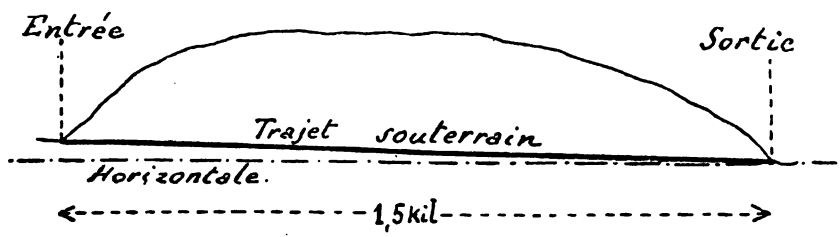


Fig. 1. — Grotte de Han.

Voici quels sont les chiffres (1) : Entre l'entrée et la sortie, il y a aux basses eaux *0m,90* de dénivellation. Aux hautes eaux, il y a 3 mètres. Quant à la distance à vol d'oiseau, elle est de 1 $^1/_2$ kilomètre. En réalité, elle est peut-être triple. Ainsi donc, c'est la faible pression produite par cette dénivellation minuscule de 3 mètres qui aurait pu se transmettre encore à 1 kilomètre de distance, à travers des fissures remplies d'argile, au point de forcer cette argile à sortir des fissures vers l'aval, comme le dit M. Flamache? Poser la question, c'est la résoudre. Bien plus, j'estime que dans les conditions indiquées par M. Flamache, une pression beaucoup plus considérable que celle qui est ici en jeu ne se transmettrait pas à plus de quelques mètres. En effet, quand l'eau pénètre dans

(1) E. Dupont, *Les phénomènes généraux des cavernes, etc.* (Bulletin de la Société belge de géologie, t. VII, 1893, p. 190, Mém.).

Digitized by Google

des fissures remplies d'argile (Flamache. *loc. cit.*, p. 365), elle est immédiatement saisie par les liens invisibles et puissants de l'attraction capillaire. Quand il s'agit de sables, cette attraction est suffisamment puissante pour que l'eau mette des mois à traverser quelques dizaines de mètres. Dans l'argile, cette attraction est telle que, dans la plupart des cas, les eaux ne peuvent en sortir et que le filtre devient imperméable. Concluons donc que si, par impossible, l'eau pouvait arriver à traverser son kilomètre de conduit, elle sortirait comme le font dans ce cas toutes les eaux connues, très tranquillement, sans force mécanique et très pure, bien loin d'emporter des matières terreuses. Bien plus, si en amont l'eau tenait des matières terreuses en suspension, elle se filtrerait en route dans l'argile des fissures et servirait ainsi à les combler.

2° Si nous supposons maintenant que les fissures préexistantes admises par M. Flamache ne soient pas remplies d'argile, mais ouvertes, comme elles le sont dans certains calcaires très purs, la même impossibilité subsiste.

Quand ces fissures ou diaclases sont dans leur état naturel, telles que les mouvements du sol ou les phénomènes de retrait les ont produites, elles sont très étroites (quelques centimètres au maximum).

Elles se rétrécissent, se ferment, se bifurquent, se croisent et constituent bien le milieu le moins propre à la transmission d'une pression. Quand cette pression est aussi minime que dans le cas de Han, qu'elle doit se transmettre par de telles conduites à un kilomètre de distance, j'ose affirmer qu'à quelques mètres de l'entrée, les frottements, décompositions de force et autres auraient mis cette pression à néant. J'en appelle à M. Flamache lui-même : il le sait, dans les conduites de transmission de force par l'eau sous pression, le frottement sur les parois est une grosse cause de déperdition de force.

3° En supposant même, par impossible, que la force mécanique de l'eau pût s'exercer dans de telles fissures, il est évident *a priori* que cette force produirait d'abord ces effets, non vers l'aval, comme le dit M. Flamache, mais vers l'amont, puisque c'est là que la pression s'établit. De plus, toutes conditions de pente ou de résistance restant égales, la force allant évidemment en décroissant, graduellement, par suite du frottement, les grottes devraient présenter des formes coniques à ouverture tournée vers l'entrée.

On peut examiner des milliers de plans de grottes horizontales, on

Digitized by Google

ne verra jamais cette forme conique réalisée, même en gros. Dans le cas particulier de la grotte de Han, où, comme nous l'avons vu, l'influence de la pente est presque nulle, un coup d'œil sur le plan montre que les grands vides se trouvent, au contraire, beaucoup plus près de la sortie.

4° On se demande d'ailleurs pourquoi la rivière se serait amusée à aller traverser cet immense massif calcaire, alors qu'elle n'en avait nul besoin. En effet, dans le cas particulier de la Lesse, il y a à l'air libre une immense vallée, cent fois plus grande qu'il n'est nécessaire et où la rivière aurait pu couler sans devoir s'astreindre à se creuser inutilement un nouveau lit à travers roche. D'ailleurs, en temps de crue, cette vallée sert à prendre, encore aujourd'hui, l'excédent de la rivière. Il est donc bien simple d'imaginer que si la rivière passe dans la grotte, ce n'est pas parce qu'elle a creusé cette grotte, mais parce qu'elle l'a trouvée toute formée, lui offrant un chemin plus court et plus facile que son lit à ciel ouvert, qu'elle a abandonné.

5° M. Flamache admet que les grottes ou vallées souterraines ont été creusées sous l'influence des mêmes causes que les vallées à ciel ouvert. Je pense qu'il n'en est rien, car il y a entre ces deux genres de formations des différences capitales que M. Flamache a perdues de vue. La plus essentielle de ces différences, c'est celle-ci : Dans les vallées à ciel ouvert, la section est, pour ainsi dire, illimitée et quand de grandes précipitations pluviales se produisent, les eaux peuvent monter, en pratique, extrêmement haut dans la vallée. Cet accroissement de masse augmente énormément la puissance destructive de la rivière et explique l'intensité des phénomènes produits. Dans les grottes, il n'en est rien. La circulation se fait très souvent par des canaux à section très minime, absolument limitée, et quel que soit l'afflux des eaux en amont, le débit de la rivière est forcément restreint et ne peut jamais atteindre de grandes quantités.

6° En se basant sur cette exiguïté des canaux de passage, la formation des grandes cavités dans les grottes devient tout à fait incompréhensible dans la théorie mécanique. M. Flamache a bien compris que c'était là un point faible de sa théorie, car il glisse rapidement sur ce fait (*op. cit.*, p. 365), en disant simplement que ces cavités ont pu être créées par des causes disparues ou différentes : écroulement de plafond, creusement par aiguigeois de plateau, creusement à une époque antérieure, alors que la rivière était moins profonde.

Digitized by Google

Un diagramme montrera qu'il est presque impossible d'expliquer leur formation de cette façon.

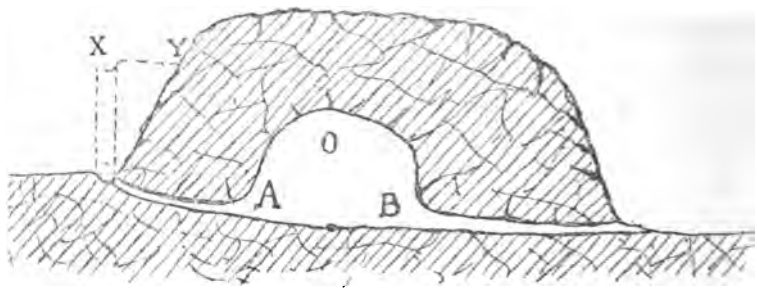


Fig. 2.

En effet, dans ce cas, le plus simple, pour qu'une rivière arrivant par l'orifice A puisse remplir la cavité, il ne suffit pas seulement d'admettre que, à un moment donné, le niveau de la rivière était en X-Y, donc plus haut que le point le plus élevé de O. Car, même dans ce cas, par suite de l'étroitesse de A, la cavité O ne se remplira que si l'orifice B est plus petit que A. Dans ce cas, l'eau s'accumulera en O, peut-être jusqu'au sommet. Sera-t-elle capable alors de creuser et d'agrandir cette cavité? Aucunement. Au contraire, on sait très bien qu'un liquide qui débouche d'un orifice restreint dans un espace plus grand perd du coup une grande partie de sa vitesse et de sa force mécanique. Quand la cavité O est remplie, plus elle est vaste, moins énergique sera le liquide qu'elle contient. Il y a là une sorte de réservoir de pression, mais c'est une pression latente qui ne fait sentir ses effets que si les parois du vase sont trop faibles pour les supporter. Il suffit d'examiner des coupes de grottes pour voir que tel est rarement le cas. Tout au plus cette pression peut-elle contribuer à un élargissement plus rapide de l'orifice B, surtout dans certaines conditions spéciales. Même si l'on examine à ce point de vue des coupes de grotte, on voit qu'il n'en est rien. Les eaux sortent fréquemment des grandes cavités par des orifices très rétrécis, nullement élargis, ni coniques de section.

7° Quand on examine un canal souterrain ou galerie de grotte, on voit qu'ils présentent en général des contours arrondis, semblables en gros à ceux que produit l'action mécanique de l'eau. Un examen plus attentif fait découvrir des détails incompatibles avec cette action de l'eau. Ainsi on voit en saillie, sur la paroi des galeries, ici des fossiles fragiles, là une mince veine de calcite ou de roche, parfois même, dans

Digitized by Google

les calcaires carbonifères, des cordons de cherts en protubérance, avec formes anguleuses et irrégulières, incompatibles avec l'action mécanique de l'eau. Si jamais, en effet, l'eau venait à circuler dans ces galeries avec la force qu'on lui attribue, son premier effet serait de balayer tout cela. On voit aussi dans les galeries une structure spéciale qu'un œil exercé reconnaît parfaitement. Ces galeries, en effet, présentent des étranglements successifs, qui leur donnent un aspect annelé que rend le diagramme suivant :

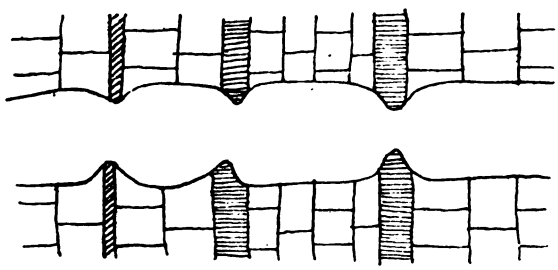


FIG. 3.

Ces étranglements rapprochés seraient incompatibles avec l'existence d'un courant d'eau énergique, qui aurait vite fait disparaître les bourrelets qui les produisent. Comme les faits signalés pour les fossiles et les cherts (silex), ils sont au contraire très explicables dans la formation chimique, en faisant appel à des différences de solubilités.

Il y a, en effet, dans les roches des bancs calcaires qui peuvent être plus siliceux ou argileux et, moins attaquables, restent en saillies ou bourrelets. De même pour les cherts tout à fait insolubles.

8° Si les grottes se sont formées par voie mécanique, pourquoi n'y a-t-il de grottes que dans les roches solubles (calcaires, dolomies) et dans les terrains volcaniques? Laissant de côté ces dernières, dont le mode de formation n'est pas en question, la relation qui existe entre les grottes et la solubilité des roches encaissantes est telle qu'elle ne peut manquer de frapper tout le monde. Je ne ferai pas à M. Flamache l'injure de croire qu'il attache beaucoup d'importance à la façon subtile dont il élude cette relation évidente de cause à effet.

Si l'action mécanique seule était en jeu, pourquoi n'y a-t-il pas de grottes dans les schistes, les grès, les psammites, toutes roches fissurées comme les calcaires et dont quelques-unes même doivent, au point de vue de l'érosion, présenter moins de résistance?

9° Dans son travail, M. Flamache fait grand état de la non-existence

Digitized by Google

de galeries en cul-de-sac dans les grottes, culs-de-sac qui devraient nécessairement exister par formation chimique. J'avoue que j'ai été profondément étonné de cette affirmation. Il suffit d'ouvrir n'importe quel ouvrage, avec figures, sur les grottes pour voir que ces culs-de-sac fourmillent dans les grottes. Le beau livre de M. Martel, *Les abîmes*, est particulièrement instructif à cet égard, comme à tant d'autres. Même l'exemple que choisit M. Flamache prouve absolument le contraire de ce qu'il expose. Un simple coup d'œil sur les plans de la grotte de Han (voir le travail de M. Dupont) montre des impasses nombreuses et indique des noms suggestifs (galerie perdue, etc.); aussi cet argument se retourne-t-il contre sa théorie, car réellement, dans l'idée de la formation mécanique, la production d'impasses est radicalement impossible. Or ce ne sont pas seulement des culs-de-sac horizontaux que l'on observe dans les grottes, mais il y a là d'innombrables culs-de-sac verticaux (1), encore bien plus incompréhensibles mécaniquement.

10° Il existe un moyen bien simple de se rendre compte si les rivières produisent réellement de grands effets érosifs dans les grottes. Toute érosion montre en effet, comme trace de sa réalité, non seulement le vide produit, mais encore les matériaux enlevés, les sédiments. Allons nous placer à la sortie des rivières, des grottes, des aiguigeois, aux sources vauclusiennes et autres des calcaires. Que voyons-nous là sortir, sinon toujours une eau parfaitement limpide et calme, sans aucune trace de sédiments, montrant bien ainsi qu'il ne sort des grottes rien qui ait été enlevé mécaniquement et que ce n'est pas par entraînement mécanique de matériaux que se creusent les vides des grottes? C'est à peine si, en temps de crue ou après de violents orages, l'on voit l'eau sortant des roches calcaires se troubler. Et encore ce trouble ne saurait être attribué à des érosions se produisant dans les grottes. Ce sont des matières provenant d'amont, arrachées aux flancs du bassin hydrographique supérieur des rivières. A ces moments-là, en effet, on voit les rivières qui pénètrent dans les grottes, fortement chargées de sédiments. Qui mieux est, une grande partie de ces sédiments ne sort pas des grottes, car à la sortie, ces rivières sont toujours beaucoup moins chargées de sédiments qu'à l'entrée. C'est là un point important sur lequel nous nous étendrons plus loin.

11° Si l'action mécanique des cours d'eau pouvait seule creuser les

(1) A proprement parler, d'ailleurs, les grandes cavités ne sont que des culs-de-sac verticaux.

Digitized by Google

grottes, comment expliquer qu'il existe des grottes là où il n'y a pas de cours d'eau? Je ne veux d'autre exemple de ce fait que la célèbre grotte d'Antiparos. Cette grotte, une des plus belles et des plus grandes de l'Europe, est située dans une petite île de l'Archipel grec, tellement petite qu'il ne peut y avoir aucun cours d'eau. Cette grotte cependant ne se différencie en rien des autres grottes d'Europe, ni comme morphologie, ni comme nature des roches encaissantes.

12° Jusque maintenant nous ne nous sommes occupé que des grottes à cours d'eau peu en pente. Voyons si la théorie de M. Flamache s'applique mieux aux aiguigeois, où les cours d'eau circulent plus ou moins verticalement. Je ne le crois pas. Toutes les objections que nous avons soulevées à propos des grottes peuvent être appliquées au même titre aux aiguigeois. Certes, les objections les plus fortes peuvent être tirées de la morphologie de ces cavités ou aiguigeois :

a) Dans quantité d'aiguigeois, on observe des cavités en cul-de-sac absolument incompréhensibles par formation mécanique, car beaucoup de ces culs-de-sac remontent verticalement et, par conséquent, on ne peut d'aucune façon admettre que la pression de l'eau aurait pu les former. Cette pression s'exerce en effet de haut en bas. L'exemple suivant fera mieux comprendre ce fait.

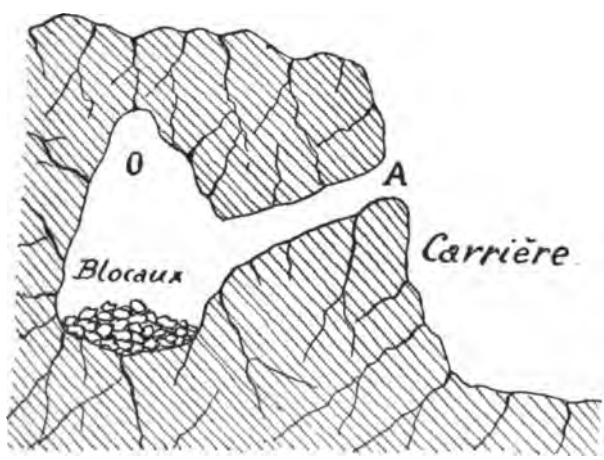


Fig. 4. — Coupe de la grotte (aiguigeois) d'Ymmiée, à Gerpinnes.

Même en admettant qu'un cours d'eau ait pénétré jadis dans l'aiguigeois par l'orifice A, il semble impossible d'admettre que ce cours d'eau aurait pu creuser le cul-de-sac vertical O.

Digitized by Google

b) Il y a sur les flancs des vallées des grottes ou aiguigeois encore plus singuliers; ce sont des boyaux plus ou moins réguliers, parfois tout à fait horizontaux, se prolongeant à quelques mètres dans la roche et se terminant brusquement. On a beau regarder de tous côtés, on n'aperçoit aucune ouverture par où un cours d'eau aurait pu pénétrer dans la caverne; à peine si l'on voit quelque imperceptible fissure. La plupart des grottes de Belgique fouillées par les anthropologistes appartiennent à cette catégorie. Celle-ci trouve son type le plus frappant dans ce que l'on appelle « l'abri sous roche ». Le plus caractéristique peut-être que je connaisse à ce point de vue est situé à une grande hauteur dans le flanc nord de la vallée du ruisseau de Sollières, en amont de la poudrière de Lovegnée. C'est une belle cavité de plusieurs mètres d'ouverture, ayant à peu près les mêmes dimensions dans tous les sens. C'est une vraie niche ou portique, absolument clos de tous côtés dans la roche. Quand on se trouve sous ce portique, il serait difficile de s'imaginer qu'un cours d'eau y a jadis circulé pour le former.

c) Enfin, il est un dernier genre de cavités encore plus impossibles à former par voie mécanique. Quand on se trouve dans certaines carrières de calcaire, il n'est pas rare de voir certains bancs présenter une structure dite caverneuse et être creusés de cavités nombreuses, parfois très considérables, présentant par exemple l'aspect suivant.

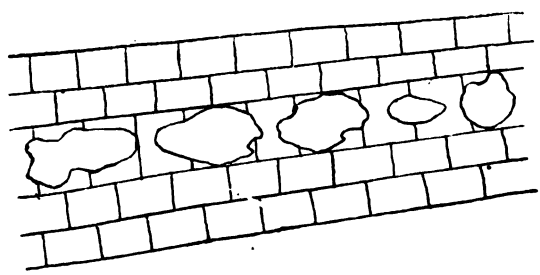


Fig. 5.

Quand ces bancs caverneux sont gros, il peut y naître ainsi de véritables cavernes, dont le banc est alors complétement perforé. Le niveau de calcaire brèche qui se trouve sur le bord nord du bassin de Namur dans le Viséen supérieur, présente fréquemment cette structure, comme on peut le voir dans les beaux escarpements de la Meuse entre Namur et Huy, et ainsi naissent les petites cavernes connues dans cette région

Digitized by Google

par les fouilles qu'on y a faites. Qui oserait soutenir un instant que ces cavités se sont formées par voie mécanique? Nul doute qu'elles ne soient dues à l'activité chimique de l'eau et que nous n'ayons là sous les yeux un stade en quelque sorte embryonnaire de la formation des cavernes.

SECONDE PARTIE.

Dans la partie précédente, nous avons montré que l'hypothèse de M. Flamache de la formation mécanique des cavernes n'est pas admissible; il nous reste maintenant à examiner si l'hypothèse chimique adoptée par la presque unanimité des géologues est ébranlée par les objections soulevées contre elle par M. Flamache.

Voici en quelques mots la principale de ces objections : Pour M. Flamache, les phénomènes de dissolution des calcaires et les vides qui en sont la conséquence n'ont pas l'importance qu'on leur attribue. Ces phénomènes sont superficiels et limités à 2 ou 3 mètres de la surface. M. Flamache prouve son affirmation par six ordres de faits et par une démonstration expérimentale. Nous allons examiner successivement ces différents faits.

Pour prouver que l'action chimique de l'eau et son pouvoir dissolvant sont limités à la surface du sol et partant incapables de creuser les grandes excavations profondes, M. Flamache cite le cas de la grotte de Han où, après avoir parcouru quelques mètres, l'eau arrive dans les cavités chargée de bicarbonate de chaux et produit des stalactites. Donc, dit-il un peu plus loin, l'eau, au lieu de créer des cavités, possède une faculté obstruante ramarquable, bouchant les fissures, formant des amas, etc.

A ce point de vue, M. Flamache a parfaitement raison, car j'admets, et je vais le prouver, que, examinée *dans les conditions actuelles*, la formation de grottes comme celle de Han par le pouvoir dissolvant de l'eau est complétement inadmissible.

1° L'examen de grottes à stalactites comme la grotte de Han prouve, en effet, à l'évidence que, en vertu même de leur pouvoir dissolvant, les eaux sont actuellement occupées à reboucher les grandes cavités.

Digitized by Google

Traversant, à partir du sol, un réseau plus ou moins compliqué de canalicules à parois calcaires, les eaux météoriques carboniquées se chargent de bicarbonate de chaux emprunté aux parois des canalicules. Aussitôt qu'elles débouchent, *goutte à goutte*, dans une cavité, elles déposent ce calcaire sous forme de stalactites, stalagmites, etc., formant parfois des masses considérables. Or il n'est pas un instant contestable que ces masses solides de calcaire concrétionné ne réduisent plus ou moins le cube de la cavité préexistante.

2° Lorsqu'un cours d'eau quelconque traverse les cavernes, aiguigeois ou autres cavités des terrains calcaires, le phénomène de remplissage des cavités marche encore bien plus vite. Nous avons déjà touché incidemment ce point dans la première partie, mais nous devons y revenir ici plus en détail pour le point qui nous occupe. Considérons, par exemple, les aiguigeois de plateau. On le sait, les neuf dixièmes de ces aiguigeois, en Belgique, peuvent être représentés schématiquement de la façon suivante :

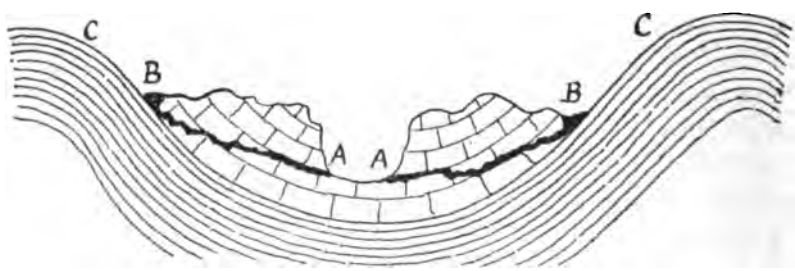


Fig. 6.

On constate en effet que ces aiguigeois sont situés au contact d'une bande de terrain calcaire avec une bande de terrain quartzo-schisteux. A la surface du sol, les entonnoirs des aiguigeois jalonnent dans le Condroz et l'Entre-Sambre-et-Meuse les lignes de contact des calcaires devoniens ou carbonifères avec les schistes et les psammites des mêmes systèmes. Dans ces conditions, voici ce qui se produit : les eaux qui circulent sur les protubérances quartzo-schisteuses imperméables dévalent le long des pentes et se chargent, surtout en temps d'orage ou de dégel, d'une grande quantité de matières terreuses. Arrivées au contact des aiguigeois, ces eaux, qui constituent parfois de gros ruisseaux, se précipitent dans les cavités ouvertes et, après avoir circulé plus ou moins loin dans un lacis de canaux, arrivent au jour en contre-bas dans les

Digitized by Google

vallées, en A, par exemple, en produisant de belles et abondantes sources. Or, c'est là un fait d'observation presque général, ces sources sont toujours limpides et fraîches, et ce n'est que très exceptionnellement, après de très fortes crues, qu'elles se troublent plus ou moins fort. En tout cas, ce trouble est toujours incomparablement moindre que celui que présentent les eaux avant leur entrée dans l'aiguigeois. Pour ne donner qu'un exemple facile à observer de ces phénomènes, je citerai le bel aiguigeois de Falmignoul, où s'engouffre un ruisseau, souvent boueux, qui vient réapparaître un peu plus bas, au pied de l'escarpement calcaire de la rive droite de la Meuse, en face de Waulsort, sous forme de plusieurs sources toujours limpides et incolores. Sans doute que, dans leur trajet souterrain, les eaux ont stationné dans des espaces assez vastes où le calme a été suffisant pour permettre la précipitation des matières en suspension les plus ténues. Quoi qu'il en soit, le résultat final est évidemment que cet apport de matières argileuses doit à la longue obstruer les vides souterrains. Aussi n'est-il pas rare de rencontrer des aiguigeois complétement bouchés et où l'eau ne peut plus pénétrer qu'en filtrant à travers les matériaux de remplissage.

Si nous examinons maintenant le cas des cavernes parcourues par un cours d'eau, le phénomène se précise encore davantage, l'observation souterraine pouvant se faire dans ce cas. Prenons comme exemple la grotte de Han. La Lesse, dans la partie supérieure de son bassin, sur les roches quartzo-schisteuses de l'Ardenne, se charge, surtout en hiver ou en temps d'orage, de quantité de matières étrangères. Au contraire, à sa sortie, elle coule bien transparente, ayant laissé dans les cavités souterraines tous ces matériaux de transport.

Telle est l'origine d'une partie des énormes amas de limon qu'on trouve en certains points de la grotte. Quand on voit d'ailleurs la belle nappe d'eau de la Salle des Draperies, image parfaite du calme le plus absolu, on ne saurait méconnaître la cause du phénomène de dépôt. Il est un fait d'ailleurs bien connu. A la sortie des hivers, le personnel de la grotte est obligé, pour rendre la grotte accessible aux touristes, d'enlever chaque année des masses considérables de limon amené par la crue de la rivière. Sans cette intervention du travail de l'homme donc, la grotte se boucherait petit à petit.

Ceux qui ont eu l'occasion de visiter les travaux de recherche de grotte que M. l'ingénieur Houba a exécutés au Thier des Falizes, à Rochefort, se rappelleront les énormes masses de limon qu'on a enlevées pour rendre ces nouvelles grottes accessibles, et les masses non moins considérables qui restaient encore à enlever. On pourrait multiplier

Digitized by Google

à volonté ces exemples. Pour les aiguigeois de chavée, le même phénomène se produit. La Wamme, dans la partie ardennaise de son cours, se charge presque toujours de matières argilo-sableuses. Arrivée à l'aiguigeois d'On, elle s'y engouffre. Quand elle réapparait par les deux débouchés connus à Rochefort : le Deswoin et les sources Saint-Remy, l'eau est absolument clarifiée, puisque même on utilise ces sources pour l'alimentation de la distribution d'eau de Rochefort.

Concluons donc que dans les trois genres de cavités souterraines parcourues par des cours d'eau que nous venons de signaler, ces cours d'eau, loin de créer ou d'agrandir les cavités, contribuent petit à petit à les combler, et afin de résumer cet exposé un peu long, nous serons fondé à dire que, *dans les conditions actuelles*, aussi bien par leur pouvoir chimique que mécanique, les cours d'eau tendent à remplir les cavernes et que, par conséquent, ce n'est pas de cette façon qu'on peut expliquer leur formation.

Que déduire de cette conclusion en apparence négative? Il faut bien cependant que les grottes se soient formées pour une cause ou pour l'autre. La conclusion est bien simple : il suffit de dire que *ce n'est pas dans les conditions actuelle* qu'on peut concevoir *la formation des cavernes*.

Ici nous devons faire appel à des raisonnements d'ordre plus général. Il était jadis de mode en géologie, pour expliquer les faits, de faire appel à des causes violentes, à des catastrophes. On a réagi avec beaucoup de raison contre cette tendance, mais, comme dans toutes les réactions, on a souvent dépassé le but et aujourd'hui on ne jure plus que par ce qu'on appelle la doctrine des causes actuelles. Quant à moi, il me semble bien puéril de vouloir ainsi enfermer la nature dans les limites étroites de nos formules, de nos théories et de nos procédés de raisonnement. Pour les milliers de phénomènes qu'elle produit, la nature tient en réserve des milliers d'outils, des forces extrêmement variées. Ces forces, tantôt elle les fait agir lentement et sûrement, tantôt elle précipite leur action. Comment oser croire que, sans doute pour la satisfaction personnelle des hommes à panacées universelles, la nature ait montré toutes ses ressources, tous ses moyens dans la période actuelle, qui n'est qu'un instant dans la vie de notre globe? Pour moi, il n'est pas de théorie *a priori*, exclusive, unique; chaque cas doit être examiné et tantôt l'on constatera qu'il nécessite une explication, tantôt une autre.

Pour en revenir à nos moutons et fermer cette trop longue parenthèse, j'estime que pour expliquer la formation des cavernes, il faut

Digitized by Google

faire appel à un ensemble de conditions qui, n'étant plus réalisées aujourd'hui, empêchent de concevoir directement cette formation et nécessitent un raisonnement préalable.

La même chose se passe d'ailleurs pour la formation des vallées à ciel ouvert auxquelles M. Flamache a fait allusion. Si, pour concevoir le mode de formation de ces vallées, on se bornait à l'observation pure et simple des faits actuels, jamais on ne conclurait à la formation de ces vallées sous l'influence des cours d'eau qui les traversent.

En effet, de nos jours, ces cours d'eau sont absolument incapables de phénomène de creusement et, bien au contraire, on constate que la formation des vallées est aujourd'hui dans un stade de régression, justement sous l'influence du cours d'eau qui, chaque année, en période de crue, tapisse sa vallée d'une nouvelle couche sédimentaire. Nos grandes vallées ont vu par ce processus leur fond se remplir de plusieurs mètres de dépôts meubles. Donc, ici comme dans les cavernes, les cours d'eau contribuent à combler les cavités.

Allant plus loin encore dans la voie de l'observation, on constate que dans nombre de vallées secondaires, évidemment creusées par les eaux, il n'y a plus de nos jours le moindre filet d'eau.

Que conclure de tout cela? C'est que, comme nous le disions plus haut, *les cavernes*, comme aussi les vallées, *se sont creusées dans des conditions différentes de celles qui prévalent aujourd'hui.*

Pour le sujet qui nous occupe, la principale de ces conditions, c'est l'abondance des précipitations pluviales.

Au fur et à mesure que la géogénie si obscure et si peu connue des temps quaternaires se débrouille, apparaît plus certaine cette affirmation que pendant le quaternaire, les pluies ont dû être incomparablement plus copieuses qu'aujourd'hui.

Il y a déjà quelque temps, dans un travail sur les vicissitudes du cours de la Meuse pendant les dernières périodes de l'histoire de la terre (1), nous faisions ressortir l'ampleur et l'énergie des phénomènes d'érosion de ce cours d'eau pendant le Quaternaire, comparées à la nullité des mêmes phénomènes actuellement. Le beau travail de M. van Overloop sur le bassin de l'Escaut (2) montre à l'évidence les mêmes conclusions; enfin, très récemment, M. Rutot a fait paraître un magistral

(1) X. Stainier, *Le cours de la Meuse depuis l'Ère tertiaire* (Bulletin de la Société belge de géologie, t. VIII, 1894, p. 83, Mémoires).

(2) E. van Overloop, *Les origines du bassin de l'Escaut* (Bulletin de la Société belge de géologie, 1890, Annexe).

Digitized by Google

travail sur le Quaternaire (1), qui a enfin fait la lumière sur les questions si longtemps pendantes concernant cette époque obscure. Je renvoie pour plus de détails à cet important travail. On y lira avec fruit, pages 122 et suivantes, l'exposé des phénomènes qui se sont produits pendant la période hesbayenne et la description de la vaste inondation qui, due à des précipitations fluviales abondantes ou à la fonte des glaciers, probablement aux deux causes réunies, qui, dis-je, ensevelit toute la moyenne et la basse Belgique.

A la lueur de ces faits, reprenons l'étude du mode de formation des cavernes par voie de dissolution chimique.

Nous y verrons que la quantité d'eau qui circule dans le sol est un facteur de la dernière importance, car suivant cette quantité le phénomène peut varier, non pas seulement en plus ou en moins, mais même changer complétement de sens et produire des effets diamétralement opposés. Il y aura là matière à utile réflexion pour ceux qui croient que, en tout et pour tout, on peut remplacer des causes énergiques par des causes infinitésimales, mais agissant pendant très longtemps.

Voyons ce qui se passe dans ce cas-ci.

De nos jours, l'eau circule dans les canaux à section plus ou moins large, mais toujours très appréciable, creusés dans les calcaires. Cette eau, peu abondante, coulant, comme le dit M. Dupont (voir *op. cit.*), goutte à goutte, a vite fait de se charger complétement de bicarbonate de chaux et, quand elle arrive dans des espaces assez vastes, elle s'évapore dans l'air de ces espaces par suite de son peu d'abondance et, déposant son calcaire, elle est en réalité incrustante.

Plaçons-nous maintenant dans les conditions quaternaires.

Stade initial : Des fissures plus ou moins larges, dues au mouvement du sol, préexistent dans les calcaires.

Ces fissures livrent passage à des quantités considérables d'eau douée de pouvoir dissolvant. Cette eau, sans cesse renouvelée, engorge complétement les cavités et fissures et, dans ces conditions, quel que soit le degré de saturation en calcaire que ces eaux puissent atteindre, il n'y a pas précipitation de calcaire ni incrustation quelconque, puisqu'il n'y a pas évaporation. Si de plus, chose dont nous montrerons plus loin la grande importance, nous supposons que les fissures sont suffisamment larges pour que la capillarité ne s'y fasse pas sentir, les eaux y renfermées sous leur propre pression chercheront une issue vers le bas ou sur le

(1) A. Rutot, *Les origines du Quaternaire de la Belgique* (Bulletin de la Société belge de géologie, t. XI, 1897, p. 1, Mém.).

Digitized by Google

côté, et quand elles l'auront atteinte, s'écouleront au dehors, entraînant à l'extérieur le calcaire qu'elles auront dissous. Incessamment remplacées par de nouvelles eaux abondantes, douées d'un nouveau pouvoir dissolvant, elles élargiront petit à petit les fissures où elles circulent et finiront par les transformer en canaux et en cavités à larges sections.

Stade de grande activité : Quand les canaux seront devenus fort larges et qu'en certains points même il se sera formé des cavités trop vastes pour être remplies complétement par les eaux, les phénomènes ne changeront pas pour cela, au contraire, si l'afflux d'eau reste abondant. En effet, la largeur des canaux permettra un rapide écoulement des eaux et par conséquent le renouvellement fréquent de l'agent de dissolution. Nous admettons même qu'alors, dans les aiguigeois de plateau où les canaux sont voisins de la verticale, l'action mécanique de l'eau doit pendant ce stade aider considérablement l'action chimique. On ne saurait nier, en effet, que de grandes masses d'eau tombant verticalement en cascade dans les cavités ne doivent y produire des effets d'érosion marqués par eux-mêmes et par les matières étrangères, sables, cailloux, blocs, qu'elles pourraient entraîner.

Cette action mécanique serait encore activée par certaines dispositions locales, faciles à concevoir.

Stade d'équilibre final : Lorsque, par suite de changements notables dans les conditions climatériques, les précipitations fluviales diminuent très notablement, on entre dans le stade régressif où nous sommes aujourd'hui et où les cavités tendent plutôt à se combler.

D'après tout ce qui précède, on peut conclure que, avant tout, deux conditions sont nécessaires pour que des fissures préexistant dans des calcaires puissent se transformer en grottes; ces conditions sont : 1° une grande abondance d'eau circulant dans les fissures; 2° une circulation rapide et un renouvellement très fréquent de cette eau.

La première condition dépend évidemment des conditions climatériques, mais la seconde suppose des conditions locales et spéciales qui expliquent en partie pourquoi, comme se le demande M. Flamache, toutes les fissures des calcaires ne donnent pas naissance à des grottes.

En effet, pour ce qui concerne la Belgique, on est étonné de voir que les grottes sont réparties d'une façon remarquable et que l'on peut y reconnaître les règles suivantes :

1° Les grottes n'existent que dans les terrains calcaires;

Digitized by Google

2° Les aiguigeois et les petites grottes sont réparties dans tous nos étages calcaires carbonifères et devoniens;

3° Les grandes grottes parcourues par de grands cours d'eau n'existent que dans la bordure méridionale du bassin de Dinant et seulement dans le calcaire givétien;

4° Même dans cette bande calcaire, les grandes grottes ne se trouvent que là où la régularité de cette bande est interrompue et où sa direction générale est-ouest fait place à une série de plissements et de bouleversements qui donnent à la bande une plus grande largeur et une direction générale plutôt nord-sud. Il est facile de se rendre compte de la relation entre les grandes grottes et les plissements et les bouleversements en question. Ceux-ci, en effet, provoquent les fissures nécessaires pour que les grottes puissent commencer à se former. Nous citerons à cet égard la région Chimay-Couvin, les environs de Durbuy, de Remouchamps et surtout celle de Rochefort, où se trouvent les grottes de loin les plus remarquables.

Mais, au premier abord, on ne se rend pas aussi bien compte de la liaison qui existe entre les grandes grottes et le calcaire givétien.

Nous allons examiner à quoi tient cette liaison et nous éluciderons du coup un des points les plus importants de la géogénie des cavernes.

Les grandes grottes se forment surtout chez nous dans le Givétien parce que, dans la bande en question, cet étage est notre étage calcaire le plus pur, et cela sur de grandes épaisseurs. Cette question de la pureté des calcaires joue en effet le plus grand rôle. Au moment où l'eau commence à circuler dans les fissures tectoniques, les diaclases des calcaires, si ceux-ci sont fort purs, peu chargés de matières étrangères (sable, argile surtout), si les intercalations schisteuses sont nulles, les phénomènes se passeront comme nous l'avons indiqué plus haut, et de grandes grottes pourront en résulter.

Mais si les calcaires sont chargés de matières argileuses et sableuses, les premiers phénomènes de dissolution qui se produiront mettront ces matières en liberté, elles s'entasseront dans les fissures qu'elles finiront par boucher complétement. A ce moment, les phénomènes prennent une tout autre allure. Quel que soit l'afflux d'eau par-dessus, l'eau ne peut plus circuler dans les fissures qu'avec une extrême lenteur, car elle est obligée pour passer de filtrer à travers l'argile ou les matières étrangères qui remplissent les fissures. Dans cette argile, elle est retenue avec une énergie extrême par la capillarité et met des mois dans les

Digitized by Google

argiles très fines pour faire quelques mètres. Alors ne se trouvent plus réalisées les conditions de rapidité d'écoulement et d'afflux abondant d'eau que nous avons vus si nécessaires pour la genèse des grandes cavernes, et celles-ci ne se forment pas. A la lueur de ces faits, on pourra voir comment, dans la plupart des cas, on peut expliquer les localisations des cavernes même dans des détails minimes. Qui n'a vu, en effet, dans des carrières, un banc tout particulièrement choisi par les eaux pour y exercer leur action dissolvante et où elles circulent même sans avoir égard à la pesanteur, en quelque sorte attirées par la pureté et la facilité d'attaque de ce banc particulier (1)? Nous avons même ici l'explication d'un fait qui pourrait au premier abord sembler difficile à comprendre.

Si les grottes se forment surtout par voie chimique, pourquoi sont-elles si rares et si petites dans les dolomies, cependant si communes dans certains pays et si aisément solubles dans l'eau carboniquée?

La raison en est bien simple et tient à une propriété spéciale à la dolomie. Les dolomies, comme on sait, sont toujours grano-cristallines. Or, les eaux météoriques laissent intacts les cristaux de dolomie et attaquent plus volontiers la matière qui tient réunis tous ces cristaux et qui les cimente en quelque sorte. Aussi voit-on, par altération météorique, la dolomie se transformer en une arène grossière, grisâtre, qui remplit immédiatement les fissures de la roche et empêche les eaux d'y circuler autrement que par filtration lente. Alors, comme nous le savons, les phénomènes de dissolution produits sont très peu notables et ne peuvent donner naissance à des grottes.

On voit donc combien importante est la considération du degré de pureté des calcaires au point de vue de l'obstruction des fissures.

Grâce à ces considérations, on comprend pourquoi l'expérience instituée par M. Flamache n'a donné que des résultats négatifs.

Pour terminer cet examen spécial, nous voudrions ajouter quelques remarques que nous a suggérées la morphologie des cavernes et qui sont de nature à élucider certains points de leur géogénie.

(1) Cet éclectisme des eaux météoriques, pourrait-on dire, me remet en mémoire un curieux phénomène de dissolution chimique. Dans le gisement de phosphate exploité à Hallencourt (nord de la France), les eaux météoriques avaient passé à travers une couche de craie et avaient attaqué, plus bas, une autre craie phosphatée, de façon à former des poches de phosphate enrichi qui étaient situées en contact des deux craies. Cette préférence de l'eau s'expliquait aisément en constatant que la craie phosphatée était grossière, poreuse, très perméable, tandis que celle du dessus, qui aurait dû être attaquée la première, était cohérente, fissurée et argileuse.

Digitized by Google

Si l'on examine les dépôts formés par altération chimique à la surface des terrains meubles perméables et filtrants, on constate que ces dépôts affectent toujours une allure bien connue, dite « en poches », en d'autres mots qu'ils affectent la forme de cônes à pointe tournée vers le bas. Au contraire, les cavernes, que nous considérons aussi pourtant comme des résultats d'altération et de dissolution chimique, affectent bien en gros la forme de cônes, mais ces cônes ont la pointe tournée vers le haut. C'est là un fait qui ne peut manquer de frapper de prime abord et dont il faut rechercher l'explication. Nous croyons que cette explication montrera qu'il y a là, non pas une objection, mais bien une confirmation éclatante du phénomène chimique.

1° *Cas des roches filtrantes :* Dans ces roches, par suite de l'attraction capillaire, la marche de l'eau est toujours lente, quel que soit l'afflux d'eau. Cette eau aura donc tout le temps de dissoudre les substances solubles qu'elle rencontrera, de se saturer tout en descendant petit à petit et surtout de perdre tout pouvoir dissolvant ultérieur. Si donc les roches filtrantes présentaient partout une égalité mathématique dans leur composition chimique et leurs propriétés physiques, la limite des dépôts altérés serait parallèle à la surface du sol. Mais en pratique, il n'en est jamais ainsi et le sous-sol présente de grandes variations. Si nous représentons par la ligne AB la surface du sol, nous pourrons avoir au-dessous les quelques cas suivants :

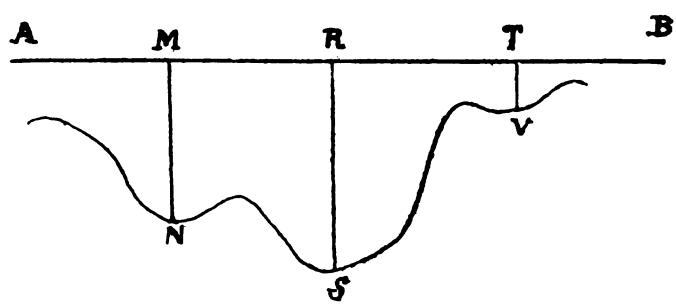


Fig. 7.

Dans la verticale MN, les roches seront plus perméables, la vitesse de l'eau pourra y être plus grande, elle pourra donc arriver plus loin sans être saturée aussi vite qu'ailleurs. Dans la verticale RS, les roches seront moins chargées de matières solubles, il y aura moins de besogne à faire, partant le champ d'action de l'eau pourra être plus étendu. Dans la verticale TV, les précipitations pluviales seront plus copieuses et ainsi de suite. On voit donc que, par la limite inférieure de ses produits

Digitized by Google

d'altération, l'eau nous donne en quelque sorte le graphique des causes qui ont fait varier son activité.

2° *Cas de calcaires purs à larges crevasses :* Dans ce cas, les eaux pluviales abondantes, circulant avec la plus grande facilité, tombant même parfois verticalement, ne doivent pas produire en route leur plus grande dissolution par suite de la rapidité de leur chute ; elles doivent donc arriver à leur niveau de base et d'équilibre sans être saturées. Elles pourront donc, au voisinage de ce niveau de base, grâce à un repos plus considérable, exercer encore une puissante action corrosive, d'autant plus qu'elles se renouvellent constamment. C'est à ce moment, pensons-nous, qu'intervient un nouveau facteur important. En effet, à l'action des eaux provenant de la surface peut venir se joindre l'action corrosive de cours d'eau considérables qui circulent dans certaines grottes. Ces cours d'eau, chargés souvent, comme l'eau de pluie, d'acide carbonique, jouissent aussi d'un vif pouvoir d'érosion chimique, et comme ils font passer chaque jour dans certaines cavernes, même de nos jours, d'énormes quantités d'eau, nul doute que leur action chimique n'ait été et ne soit encore très notable. Si donc, par places, le canal sans cesse élargi dans lequel circule le cours d'eau vient à rencontrer un canal vertical amenant les eaux superficielles, il pourra se produire à cet endroit un maximum d'excavation.

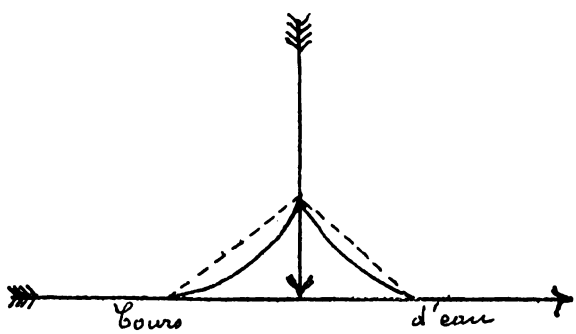


FIG. 8.

Théoriquement, la forme de la cavité produite devrait être celle que nous indiquons dans le diagramme ci-dessus. Mais les phénomènes de porte à faux et d'écroulement modifient toujours ce profil théorique, pour le remplacer par un profil ogival ou conique plus conforme aux conditions d'équilibre stable des masses rocheuses.

On voit donc comment tout naturellement dans ce cas-ci, les phéno-

Digitized by Google

mènes de dissolution donnent des formes coniques à pointe tournée vers le haut.

Maintenant que nous avons terminé cette étude critique un peu longue, il nous reste à énumérer quels sont, d'après nous, les différents facteurs qui jouent un rôle dans la formation d'une caverne, en montrant en même temps à quel moment de cette formation leur action se fait sentir.

Formation des cavernes.

1° Par suite de mouvements géodynamiques, des diaclases se produisent dans les calcaires, par eux-mêmes compacts et imperméables.

2° Les eaux météoriques chargées d'acide carbonique circulant dans les diaclases des calcaires assez purs, dissolvent le calcaire et, élargissant ainsi continuellement ces diaclases, créent dans la masse rocheuse un lacis varié de canaux pouvant avoir des sections très variables avec certaines conditions locales aisées à comprendre.

3° Dans ceux de ces canaux qui sont verticaux, l'action mécanique de l'eau, sa chute, sa pression, l'entraînement de matériaux durs peuvent produire des élargissements notables.

4° Au voisinage du niveau de la nappe aquifère, l'action dissolvante plus prolongée permet aux eaux de créer des cavités plus considérables.

5° Ces cavités peuvent devenir encore plus considérables, du fait du passage dans les masses rocheuses de cours d'eau qui viennent joindre leur action dissolvante à celle des eaux superficielles.

6° L'action mécanique de l'eau doit venir contribuer à l'élargissement de ces cavernes, surtout dans certaines conditions spéciales (coudes brusques, chutes, étranglements, etc., etc.).

7° Des phénomènes d'écroulement, favorisés par la création de porte à faux et l'existence de diaclases et de fissures, doivent aussi agrandir notablement les vides internes.

En résumé donc, et c'est par cette considération que nous terminons, nous croyons que les grandes cavernes doivent leur existence et leur ampleur à l'action combinée de phénomènes chimiques et mécaniques, secondés par de vastes écroulements (1).

(1) Comme on le voit, nous sommes loin d'être exclusif et de croire qu'un seul genre de phénomènes soit capable de produire tous les effets observés.

Digitized by Google

NOTE

SUR LES

MARÉES A LA FIN DE L'ÉPOQUE QUATERNAIRE

SUR

LES CÔTES DE BELGIQUE

PAR

J.-C. VAN MIERLO

(Présentée à la séance du 26 octobre 1897)

Dans la remarquable étude du terrain flandrien publiée par M. Rutot dans le *Bulletin de la Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie*, il y a un point, nous semble-t-il, qui a été quelque peu laissé de côté et qui cependant n'est pas sans importance, maintenant surtout que la nature maritime du terrain flandrien est parfaitement démontrée.

Ce point, que nous nous proposons de traiter dans la présente notice, comporte l'étude des marées dans la mer flandrienne, ou plutôt l'étude des modifications que la marée a pu subir par suite de la rupture du Pas-de-Calais.

Nous voyons, en effet, dans la succession chronologique indiquée par M. Rutot, deux états bien différents de la mer flandrienne : le premier s'étend depuis les temps les plus anciens jusqu'au moment où la languette de terre réunissant le continent à la Grande-Bretagne se rompt; le second part de l'instant où la communication fut établie jusqu'à nos jours.

Cette division est essentielle au point de vue de l'étude de la marée.

Digitized by Google

§ 1. — Avant la rupture du Pas-de-Calais.

Peut-être trouvera-t-on qu'il y a quelque témérité à vouloir décrire ce qui s'est passé en des temps si reculés et dans des circonstances si différentes de celles qui sont sous nos yeux actuellement; et, effectivement, ce serait chose impossible si nous n'avions pour guide un élément fixe, immuable, qui n'a pas varié depuis l'origine du monde : c'est la loi du mouvement des marées.

Depuis toujours, la rotation de la terre, combinée avec l'action du soleil et de la lune sur les mers, a dû produire les mouvements des eaux et entre autres la marée. Depuis toujours aussi, la marée a dû se propager de l'ouest à l'est dans l'Atlantique nord et venir s'engouffrer comme aujourd'hui dans le golfe fermé de toutes parts qu'était la Manche.

Voyons ce qui se passe actuellement dans cette mer. Nous avons pour la hauteur moyenne des syzygies les chiffres suivants :

Côte française.	m.	Côte anglaise.	m.
Ouessant	6.40	Scilly	4.80
Heaux	9.45	Start Point	5.20
Saint-Malo	11.20	Exmouth	3.70
Cap de la Hague	8.25	Portland	2.06
Cherbourg	5.85	Brighton	4.12
Le Havre	7.20	Dungeness	6.00
Dieppe	8.55	Douvres	5.80
Boulogne	7.86		
Dunkerque	5.45		

On sait qu'au fond des golfes resserrés et orientés contre la propagation de la marée, la hauteur de l'eau peut atteindre des chiffres extraordinaires.

Les exemples les plus classiques sont : la baie de Fundy, où il y a 21 mètres de marée au fond du golfe et $2^m,70$ seulement à l'entrée; le golfe de Bristol, où il y a de 14 à 15 mètres, et la baie Saint-Michel sur la côte française, où il y a 15 à 16 mètres en vives eaux.

Or, quand le Pas-de-Calais était fermé, le fond de la mer de la

Digitized by Google

Manche formait un golfe des mieux exposés pour les accumulations d'eau.

Remarquons, en effet, que si, au mont Saint-Michel, il peut se produire des marées de 15 mètres, alors que la saillie de la presqu'île du Cotentin n'a guère que la moitié de la largeur de la Manche à l'ouest de cette presqu'île, il a dû se former des dénivellations bien plus considérables entre Dieppe et Boulogne, puisque la mer est partout comprise entre des falaises à pic ne permettant pas à l'eau de s'épancher. Toute la force vive dont elle était animée était donc employée à relever le niveau de marée haute et il est infiniment probable que celui-ci ne devait pas être inférieur à la cote 20.

20 mètres de marée!

Voilà donc quelle était la situation à cette époque. A cela, il faut ajouter que les coups de vent d'ouest, qui sont les plus nombreux et les plus violents, doivent avoir eu une influence tout particulièrement considérable sur le régime des marées; il faut donc peut-être encore majorer le chiffre de 20 mètres.

D'autre part, la marée est bien plus élevée sur les côtes françaises que sur les côtes anglaises, parce que celles-ci sont quelque peu abritées contre l'action directe de la vague marée, qui, se lançant contre les côtes du continent, produit un surélèvement de ce côté.

Ainsi, voici les chiffres qui sont réalisés en divers points atteints à peu près en même temps (en moins d'une demi-heure) par la marée.

	Hauteur en pieds de 0m,305.	
	Vives eaux.	Mortes eaux.
Dieppe	27 1/2	21
Tréport	28 1/2	22
Hourdel	28 1/2	22
Boulogne	25 1/4	19 3/4
Gris-Nez	21 1/2	16 3/4
Douvres	18 3/4	15
Dungeness	21 3/4	19
Newhaven	19	14
Cowes	12 1/2	9 1/2
Exmouth	11	8 1/2

Tout ceci prouve qu'actuellement il existe des courants transversaux dans la Manche, et il a dû en exister aux temps préhistoriques également, puisque la loi de propagation des ondes marées n'a pu subir qu'un

Digitized by Google

changement tout à fait local, limité à quelques dizaines de lieues à l'entrée du Pas-de-Calais. On observe du reste la même chose encore aujourd'hui le long de la presqu'île de Cotentin, puisqu'il y a 4 ou 5 mètres de plus à la baie Saint-Michel qu'au cap de la Hague.

De l'autre côté du Pas-de-Calais, la situation est toute différente.

Nous voyons en effet que l'onde màrée qui se propageait dans l'Atlantique et qui envoie un rameau dans la Manche devait, pour pénétrer dans la mer du Nord, contourner toutes les îles Britanniques.

Il ne faut pas moins de quatre heures pour que le sommet de l'onde marée aille de l'extrémité ouest de l'Irlande au cap Nord-Est de l'Écosse.

La propagation de la marée se fait vers le nord-est et ce n'est qu'après avoir tourné l'Écosse que les ondulations pouvaient se transmettre de proche en proche vers le sud; et il fallait encore plus de douze heures pour que les dénivellations vinssent frapper nos côtes.

Or la marée dans la mer du Nord se conduit bien différemment suivant que l'on se rapporte au rivage est ou au rivage ouest. A mesure que l'on marche vers le sud sur la rive ouest, la dénivellation diminue, abstraction faite, bien entendu, de circonstances locales, telles qu'embouchures de rivières.

Tandis qu'en Écosse il y a de 15 à 16 pieds en vive eau et que cette amplitude persiste même jusque Flamborough-Head, une fois que l'on est au sud du Wash, la hauteur de la marée diminue brusquement pour n'avoir plus que 6 pieds en vive eau.

Précisément en face, sur la côte danoise, on remarque la même chose. Tandis que dans l'Eider, à Cuxhaven et à l'entrée de l'Elbe, on constate environ 10 pieds, la cote descend à 5 pieds à Schiermonnikoog et à 4 $^1/_4$ pieds à Texel.

Donc la marée venant du nord meurt en une dénivellation atteignant à peine $1^m,20$, là précisément où la mer du Nord commence à devenir étroite; ceci se comprend aisément à cause de l'orientation générale nord-sud des côtes.

Au sud donc de la ligne Yarmouth-Texel, la marée est très faible et elle ne reprend d'amplitude — de nos jours — que par l'influence de l'onde venant de la Manche.

Donc, avant la rupture du Pas-de-Calais, c'était uniquement l'onde très affaiblie qui restait encore au sud de la ligne Yarmouth-Texel, qui se faisait sentir sur nos côtes; et elle devait, par suite de la rotation de la terre, avoir une tendance à fuir nos côtes pour s'appuyer davantage contre les côtes anglaises.

Digitized by Google

§ 2. — Conséquences.

Il résulte de là que les marées au sud de la mer du Nord devaient être extrêmement faibles et n'atteindre que 1 mètre au maximum à l'embouchure de la Meuse. Là, la marée subissait une nouvelle réduction par suite de l'immense développement du bassin d'inondation, comprenant presque toute la Hollande actuelle et toute la basse Belgique; et, par conséquent, au moment où la fin de l'onde venait mourir sur nos plages, elle ne devait plus avoir que deux pieds, peut-être, de hauteur.

Sans nous arrêter à discuter ce chiffre, retenons seulement qu'elle était très faible et qu'elle s'exerçait au fond d'un golfe fermé et mal orienté pour sa propagation.

Les fleuves devaient donc avoir un tout autre caractère d'embouchure que celui qu'a maintenant l'Escaut; il devait se former devant chacun d'eux un delta s'étendant d'autant plus que les temps s'écoulaient. Il en est, du reste, encore ainsi dans toutes les mers à faible marée : la dénivellation qui se produit au fond de l'Adriatique et qui est de 1 mètre environ ordinairement, exceptionnellement de 2 mètres, ne peut empêcher que le Pô soit un fleuve à embouchure obstruée.

Donc, à la fin de la période hesbayenne, le Pas-de-Calais étant encore fermé, la partie nord de la Belgique devait comprendre toute une région basse sur laquelle les eaux de la faible marée qu'il y avait alors ne pouvaient que difficilement s'étendre.

Il est à remarquer, en effet, que le niveau des atterrissements dans les deltas est toujours très voisin, soit en plus, soit en moins du niveau moyen de la mer, et comme l'élévation de la marée haute au-dessus de ce niveau ne devait guère être supérieure à 1 pied, la force motrice de propagation était très faible. En outre, la végétation qui se produisait à cette époque devait être un nouvel obstacle à la marche de la marée.

En se plaçant dans cette hypothèse, on voit que dans la mer du Nord, avant la formation du Pas-de-Calais, *le régime fluvial était prépondérant par rapport au régime maritime,* car ce qui fait la prépondérance, c'est le système des courants; et le sud de la mer du Nord ne devait pas avoir de courants marins.

Le point le plus intéressant, c'est la languette de terre réunissant l'Angleterre au continent.

D'un côté de l'isthme, il y avait des marées que nous avons montré

Digitized by Google

devoir atteindre 20 mètres de haut; de l'autre, des marées à peine sensibles.

Nous avons là une cause de destruction qui n'a pas été considérée, que nous sachions, avant ce travail et qui cependant a dû avoir une influence capitale.

Cette influence devait encore être augmentée par l'action des coups de vent et des tempêtes qui viennent toujours, dans nos contrées, de l'ouest-sud-ouest et du sud-ouest. La Manche est précisément disposée de façon que les lames s'y engouffrent et c'est actuellement encore ce qui donne une navigation si fatigante dans ces parages, tandis que, au contraire, toute la côte est de l'Angleterre est à l'abri.

Cette situation a évidemment perduré tant que les falaises du Pas-de-Calais ont présenté une résistance suffisante à l'action érosive de la mer. Mais on sait que toutes les falaises, qui reculent sous l'action de la mer, cèdent vers le bas, les régions supérieures s'éboulant simplement faute de pied.

Cela se passe encore ainsi de nos jours et a dû se passer anciennement; nous préférons attribuer à cette cause la chute de la barrière entre la mer du Nord et la Manche parce que, de cette manière, nous pouvons expliquer aisément — plus aisément du moins qu'avec l'hypothèse de M. Rutot — que la Manche présente une profondeur sensiblement constante depuis le cap Lizard jusque devant Douvres.

L'action érosive des eaux s'exerçait, en effet, dans notre hypothèse, uniquement en vertu de l'action des lames de fond battant la falaise; or cette action était constante, quelle que fût la position géographique des roches limitant la partie extrême orientale du golfe normanno-breton; elle devait même s'accentuer légèrement à mesure que celui-ci se creusait, puisque le bras de mer devenait de plus en plus resserré; et, grâce aux courants de marée que nous savons être intenses et circulaires, les matériaux provenant de la démolition lente des falaises pouvaient être enlevés par la mer.

§ 3. — La rupture du Pas-de-Calais.

Les falaises étant continuellement minées par le bas, ont fini par être usées et un jour la roche a dû céder sur un point. Si nous remarquons la situation géographique actuelle et si, d'autre part, nous observons que la marée devait agir d'une façon plus intense sur la côte

Digitized by Google

continentale que sur la côte anglaise, nous serons amenés à conclure que la rupture première a dû se former sur la côte française.

Si la première brèche a été relativement faible comme étendue, la dénivellation de la marée n'a pas dû subir du coup un abaissement sensible; et alors, la mer s'élevant à des hauteurs beaucoup plus grandes d'un côté du nouveau détroit que de l'autre, il a dû en résulter un torrent furieux, véritable chasse d'eau qui s'est répandue dans la mer très peu profonde régnant au nord de la partie basse de notre pays à cette époque; et nous pensons que c'est là l'origine de cette « rivière » quaternaire dont M. Rutot a retrouvé la trace tout le long de notre littoral.

Ces choses ont continué de la même façon, la marée se précipitant par la brèche ouverte et diminuant d'autant plus à l'extrémité ouest du détroit que celui-ci, sous l'action du courant, se rongeait davantage.

Mais à mesure que cette brèche se faisait plus large, le simple torrent à écoulement intermittent formé ainsi devenait aussi de plus en plus large, et bientôt la tranchée dut être suffisante pour laisser passer l'onde marée; alors le régime sur nos côtes devint tout différent.

Les terrains qui étaient situés autrefois à peu près au niveau quasi constant de la mer du Nord, se sont vu inonder deux fois par jour périodiquement; les rivières, qui autrefois s'écoulaient paisiblement dans cette mer calme et à plage douce, ont vu leurs eaux refoulées par celles de la marée; les courants, de plus en plus importants comme volume, si pas comme vitesse, se sont répandus dans la zone méridionale de la mer du Nord, bouleversant les alluvions que le temps y avait accumulées, les ravinant dans le sens de la grande vitesse et créant ainsi, au lieu d'une plage douce, ce formidable système de bancs qui s'étend devant la côte de Flandre.

Il nous semble que c'est ainsi, et ainsi seulement, que l'on peut expliquer la formation d'un canal profond dans la mer du Nord entre l'Angleterre et le continent.

Les résultats que cette modification a eus pour notre pays sont considérables : d'abord, faut-il bien encore admettre, comme le disait M. Rutot, qu'un mouvement d'affaissement du sol fut *nécessaire* pour permettre l'invasion du pays par la mer et ensuite un mouvement de soulèvement pour permettre son émersion?

Nous ne le pensons pas, car l'influence de la marée a dû suffire pour couvrir d'eau toute la partie basse du pays après la rupture du Pas-de-Calais.

Les affaissements inégaux et assez capricieux qu'il aurait fallu pour

Digitized by Google

expliquer les différences d'épaisseur du Flandrien deviendraient ainsi de simples ravinements dus à la marée, tandis que les terres basses recouvertes par les eaux ont simplement gardé les dépôts de sables qui s'y accumulaient sur une épaisseur relativement réduite.

Alors le caractère du Flandrien, qui est « ou bien formé d'un manteau de 2 à 4 mètres d'épaisseur ou qui passe rapidement à des épaisseurs de 15, 20 et 25 mètres », devient une chose toute simple, toute naturelle, dans laquelle il suffit de faire intervenir l'action mécanique de la marée telle qu'elle se fait encore sentir de nos jours sur certaines parties de mer qui ne sont guère que des terrains inondés.

Il est très évident, par exemple, que si le Zuiderzée actuel est laissé, pendant un grand nombre de siècles encore, soumis à l'action des marées et des courants d'eau douce, le fond s'en relèvera peu à peu et qu'on finira par le voir se remplir jusqu'à une certaine cote de dépôts sableux ou argileux et on y constatera également une épaisseur à peu près uniforme, hormis quelques chenaux profonds; et cette formation, qui se produit actuellement sous nos yeux, nous semble la meilleure démonstration de la thèse que nous exposons ici.

Nous ne considérons pas non plus comme probable la façon de voir de M. Rutot relative à l'abaissement lent et progressif de la terre entre Calais et Douvres, quand il dit que « deux bras de mer suivant deux vallées préexistantes pénétraient dans le pays, séparés par une faible barrière crayeuse » et que « cette barrière fissurée, dissoute par les *agents atmosphériques,* s'est encore progressivement abaissée jusqu'à ce que les deux bras de mer aient pu se rejoindre et mélanger leurs eaux ».

Si les choses avaient dû se passer ainsi, il n'y aurait jamais eu 60 mètres d'eau dans le Pas-de-Calais, car à chaque marée haute une rivière se serait déversée au-dessus du relief de l'isthme et écoulée pendant un temps dans la mer du Nord, puisque d'un côté il y avait 20 mètres de marée et de l'autre presque rien.

Rien, à la vérité, jusque maintenant, n'empêche cette nouvelle façon de voir; mais en poussant le raisonnement à bout, on voit qu'il ne conduit pas à la situation actuelle des fonds.

Le niveau de la crête s'abaissant de plus en plus, la marée aurait eu le temps, en raison de sa vitesse ascensionnelle relativement faible, de s'écouler par-dessus la crête en l'usant, il est vrai, mais sans atteindre les cotes élevées que l'on constate maintenant encore à Saint-Michel, et toute cette eau serait venue se déverser successivement dans la mer du Nord, *sans pouvoir revenir dans la Manche.*

Digitized by Google

Au fur et à mesure donc que le sommet s'abaissait, la marée dans la Manche diminuait aussi et les courants de retour dans cette mer devaient être extrêmement faibles.

Ils auraient été tout à fait nuls le jour où le niveau de la crête aurait atteint, en descendant lentement, celui de la marée moyenne actuelle ou un peu moins.

La marée montante eût continué à se déverser par-dessus la crête, mais ce déversement eût par le fait même *empêché tout courant de retour* et, dans ces conditions, des atterrissements auraient dû se former au fond de la Manche et surtout dans l'angle sud-ouest de la mer du Nord.

Il aurait donc été impossible que l'affouillement se continuât au delà d'une faible profondeur au-dessus du niveau moyen de la mer, parce que, pour affouiller, il faut qu'il y ait eu du courant dans l'eau; et pour qu'il y ait pu avoir du courant, il aurait fallu au préalable de la profondeur.

C'est donc là un cercle vicieux et l'on ne peut concevoir, avec l'usure *de haut en bas,* que l'on ait partout une plus grande profondeur dans le Pas-de-Calais lui-même que dans les mers environnantes; tandis que, au contraire, dans l'hypothèse de l'usure *par tranches verticales*, cela va tout seul, la profondeur devant avoir été d'autant plus grande que la section était plus étroite et l'action érosive des coups d'eau s'effectuant *par le bas*.

Nous estimons donc que la formation du Pas-de-Calais et par suite de la vallée flandrienne suivant notre littoral est due à un fait brutal : une action brusque de l'eau qui, d'après la façon que nous avons dite, a pu durer des temps fort longs et avoir une influence très considérable dans la formation du chenal profond actuellement situé dans la mer du Nord au large des bancs des Flandres.

§ 4. — Dans la mer flandrienne.

Nous voyons donc qu'il est possible d'expliquer la présence d'un ravinement profond le long de nos côtes autrement que par un tassement du sol et qu'il ne faut pas non plus, absolument, un mouvement d'affaissement du sol pour que le limon stratifié fût submergé par les eaux de la mer : il a suffi de l'introduction de la marée de la Manche à travers le Pas-de-Calais rompu, pour que ces deux événements se soient produits.

Digitized by Google

Il est probable, d'autre part, que les mouvements du sol devront intervenir néanmoins pour expliquer la présence du Flandrien dans certaines vallées supérieures des rivières.

Sans doute, la marée agissant sur cette vaste étendue de terre submergée, *même en ne supposant aucun mouvement du sol*, n'a pas dû s'effectuer sans creuser des ravinements plus ou moins importants; car, du moment que la marée s'est fait sentir dans la mer flandrienne, le niveau s'en est relevé à marée haute de 2 mètres, mais aussi le niveau de marée basse s'est abaissé de 2 mètres, de sorte que la partie maritime des fleuves qui s'y jetaient a été soumise à un régime autrement excessif que celui qui existait primitivement.

Le cube d'eau passant à l'embouchure s'est trouvé soudainement augmenté dans des proportions très considérables, et ce régime des marées seul a pu suffire pour créer les profondeurs maxima que M. Rutot signale pour le Flandrien; il n'y a en effet, au plus, que 25 à 26 mètres.

Or, dans l'Escaut actuel, il y a un chenal navigable dont le fond se trouve fréquemment de 20 à 25 mètres en contrebas du niveau de marée basse, et cette cote atteint en certains endroits 30, 35 et même 40 mètres.

Si nous étudions attentivement la différence de régime actuelle entre l'Escaut, où la marée atteint et dépasse 4 mètres, et le Nieuwe Waterweg, où la marée a à peine plus de 1 mètre, nous voyons, du coup, quelle influence considérable possède la hauteur de marée pour l'entretien des passes.

La Meuse atteint, tout au plus, une dizaine de mètres de profondeur, son embouchure est obstruée et il a fallu des ouvrages de main d'homme pour la dégager ou plutôt pour en créer une nouvelle.

Pour l'Escaut, au contraire, il n'y a pas de barre et les profondeurs de près de 30 mètres se maintiennent toutes seules devant Flessingue. Or si nous remarquons qu'aujourd'hui le bassin d'inondation est uniquement limité à la surface du lit du fleuve et qu'à l'époque quaternaire tout le pays se trouvait sous eau, on conclura que les proportions du golfe de Gand et des bras plus septentrionaux que la mer pouvait avoir creusés entre nos côtes et la Zélande, tels qu'ils sont représentés sur la carte de M. Rutot, ne sont nullement hors de proportion avec le volume d'eau à écouler.

Là non plus, par conséquent, il n'est pas indispensable d'expliquer les grandes profondeurs par des affaissements du sol, et les profondeurs comme les largeurs peuvent être dues au ravinement et au creusement des eaux sous l'action de la marée.

Digitized by Google

Toutefois, ce n'est pas là le seul phénomène qui se produise sous l'action des marées.

Si elles sont creusantes par leurs courants, elles sont aussi envasantes par leurs étales et les atterrissements sont surtout sensibles vers les rivages de la mer, au fond des criques, et les 2 ou 3 mètres d'eau qui se déversaient à chaque marée montante sur la basse Belgique ont dû être remplacés petit à petit par des atterrissements de sable.

Les considérations qui précèdent ne sont évidemment pas en contradiction avec l'ingénieux système général exposé par M. Rutot dans son travail sur le Quaternaire et sur le Flandrien; mais il nous a paru intéressant de les communiquer à la Société de géologie, parce que l'influence du changement du régime des marées par la rupture du Pas-de-Calais est de nature à modifier certains détails et à donner peut-être ainsi l'éclaircissement de quelques points non expliqués.

Digitized by Google

CONFÉRENCES

SUR LES

CHARBONS DE TERRE

DEUXIÈME CONFÉRENCE

FAITE A LA

Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie

LE 19 OCTOBRE 1897

PAR

le Dr C.-E. Bertrand

Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

Charbons humiques et Charbons de purins.

MESSIEURS,

Dans une première conférence, qui date de loin déjà (1), je vous ai montré qu'il y a des *charbons d'algues*, c'est-à-dire des accumulations de matières organiques produites par l'empilement de végétaux inférieurs semblables à ceux qui flottent dans l'eau superficielle de nos mares et de nos lacs. J'établissais ainsi pour la première fois d'une façon satisfaisante le rôle des infiniment petits dans la formation des roches charbonneuses. Je vous donnais la première justification expérimentale de cette remarque : qu'aux variantes d'aspect que l'industrie minière sait reconnaître dans les charbons, correspondent des diffé-

(1) *Les bogheads à algues.* — Conférence faite à la Société belge de Géologie, le 30 mai 1893. (Voir *Bull. Soc. belge de géol.*, t. VII, Mém., pp. 45-81, pl. IV et V.)

Digitized by Google

rences de structure de ces charbons, et par suite des différences dans leurs modes de genèse. C'est dans ces indications qu'il faut aller chercher maintenant les caractéristiques de chaque classe de charbons.

Les charbons d'algues nous ont appris que des accumulations végétales se sont faites avec une rapidité prodigieuse, sans forêts et sans transports. J'ai pu dire qu'il a suffi de quelques belles journées pour amener le développement des fleurs d'eau dans la couche superficielle des eaux génératrices d'un charbon. J'ai pu dire qu'une couche d'algues de 5 mètres d'épaisseur, comme celle qui a donné le *kerosene shale* de la Nouvelle-Galles, s'était produite en une seule saison *au temps des basses eaux*, c'est-à-dire dans une période extraordinairement courte. L'existence d'algues flottantes et leur accumulation rapide près de la surface de l'eau, voilà les deux faits que je m'étais appliqué à mettre en relief dans ma première causerie.

Un autre fait se dégageait encore de la présence des algues dans ces charbons : c'est que, contrairement à toutes les prévisions, la conservation d'organismes aussi délicats et aussi sensibles à l'action des fermentations que le sont nos algues, était, dans certaines conditions, un fait régulier et normal. Il est reconnu maintenant que c'était là un mode courant de fossilisation. Il a donné une première catégorie de corps jaunes. Si les exemples de *bogheads* ou véritables charbons d'algues restent peu nombreux, les charbons contenant des algues, mais dans lesquels la gélose de celles-ci n'est plus l'élément dominant, deviennent plus nombreux à mesure qu'on étudie de nouveaux *cannels coals*.

A côté de ces faits principaux, je signalais des résultats moins importants : — Dans les charbons d'algues, il y a une gelée brune amorphe qui englobe les algues. — Il y a aussi une imprégnation bitumineuse. — L'arrivée du bitume a été tardive dans les trois charbons dont j'ai parlé. — La gelée brune ne manque dans aucun charbon organique ; elle se retrouve dans les schistes organiques dont elle forme la trame. Elle ne disparaît que dans la *classe des bitumes*. — Quelle que soit sa puissance, une couche de charbon d'algues n'est qu'un incident au cours de la formation schisteuse où elle est enfermée. Tant qu'on trouve l'algue dans le schiste, l'incident peut se reproduire. — Pendant ces périodes si tranquilles, il se produisait des *pluies de soufre*, c'est-à-dire d'abondantes chutes de poussières végétales, spores et grains de pollen, que le vent apportait sur les mares anthracigènes. Ces poussières végétales non humifiées étaient englobées par la gelée fondamentale avec les algues pélagiques. Ces corps de nature cellulosique donnent une seconde catégorie de corps jaunes.

Digitized by Google

Depuis, j'ai été amené à mettre plus en relief, d'une part la nature chimique de la substance formatrice des charbons d'algues, et d'autre part l'intervention du bitume.

La matière dominante des charbons d'algues, celle qui forme la plus grande partie de leur volume et qui leur donne leurs principales caractéristiques, est la *gélose*. Par là les charbons d'algues, les *bogheads* de l'industrie, méritent le nom de *charbons gélosiques*. En devenant substratum de carbures d'hydrogène, chaque globule de gélose a donné un corps jaune, transparent, à cassure vitreuse. Dès lors un *boghead* est un charbon caractérisé par la prédominance de ces corps jaunes. Ceux-ci sont d'origine gélosique, ce qui leur a permis de retenir certains carbures plus éclairants. Ces charbons ont une cassure verticale satinée, chaque masse vitreuse étant séparée de ses voisines par un mince filet de charbon plus terne, dérivé de la gelée fondamentale (1).

La contraction de la gélose a été faible : 2.6 à 4.0 sur la verticale et 1.3 à 2.6 horizontalement. Soit une condensation comprise entre 7 et 24. Comme la gélose des algues vivantes est extraordinairement chargée d'eau, puisqu'elle ne contient guère que 0,015 de matière sèche (2), nous sommes conduits à cette autre notion, qui me paraît capitale dans l'histoire des charbons, à savoir *que la gélose d'un thalle n'a pas fourni à elle seule la totalité du carbone et de l'hydrogène que nous trouvons solidifiés dans le corps jaune donné par ce thalle. Il y a eu enrichissement de ce corps par des matières hydrocarbonées venant du dehors.* Bien plus, je suis amené à dire que *si l'algue apporte sa contribution au* boghead, *c'est surtout comme support condensant et retenant les carbures amenés par l'injection bitumineuse.* Nulle part, en effet, dans le *boghead,* nous ne voyons l'algue en destruction donnant des carbures. On voit, au contraire, nettement l'injection bitumineuse dans les trois exemples que j'ai décrits. Le fait est tout particulièrement facile à constater dans les nodules siliceux du *boghead* d'Autun.

Dans les conditions ordinaires de la production des charbons gélosiques, les phénomènes qui donnent naissance aux diverses variétés de charbons qu'on voit associées dans les houilles, sont réguliers et nor-

(1) Cet aspect macroscopique d'un charbon d'algues est celui d'un *boghead* dont la charge en matières minérales tardives est faible. Lorsque cette charge s'élève, le *boghead* prend l'aspect d'un schiste organique.

(2) Sur 1,000 parties de matière vivante, le *Gleotrichia natans*, une algue gélatineuse submergée, contient 15 parties de matière sèche et 985 parties d'eau. Le *Nostoc commune,* algue particulièrement consistante qui vit sur la terre humide, renferme 30 parties de matière sèche et 970 parties d'eau.

Digitized by Google

maux. Ainsi nous avons trouvé dans nos trois *bogheads* des lames de charbon brillant craquelé, des fusains, du charbon terne, du charbon vitreux, etc. (1).

Les charbons dont je vous parlerai aujourd'hui nous donnent une notion nouvelle, celle de *charbons amorphes*, non pas de charbons rendus amorphes parce que la structure des organismes y a été effacée par une trituration intense ou par un état de pourriture très avancée, mais de charbons amorphes parce que les corps organisés ne participent pas directement à leur formation d'une façon sensible. La première classe, celle des *charbons humiques*, est produite par des accumulations de cette gelée brune qui constitue la trame des schistes organiques. C'est une sorte de précipité gélatineux qui a fait prise. Les corps organisés, toujours admirablement conservés, ne s'y ajoutent que dans une proportion insignifiante. La seconde classe, celle des *charbons de purins*, diffère des charbons humiques parce qu'*à la gelée brune s'est incorporée une quantité notable de produits stercoraux* (2).

Je conserverai le mode d'exposition qui m'a si bien réussi dans ma

(1) J'emploie à peu près la terminologie que le professeur C. W. von Gümbel a adoptée dans son beau mémoire intitulé : *Beiträge z. Kenn. d. Texturverhaltnisse d. Mineralkohlen*. München, 1883.

(2) On établira peut-être, par de nouvelles recherches, que la gelée brune des charbons humiques est due au travail de ces végétaux infiniment petits que l'on appelle des *bactéries*. Tous ces charbons contiennent en effet des corps bactériformes. Je ne suis pas parvenu à établir, pour les charbons que je vais étudier, si leurs corps bactérioïdes sont des restes de bactéries, ou si ce sont des inclusions sans substratum organisé. Cet échec m'impose de m'abstenir de toute conclusion sur ce point. Je ne puis oublier l'exemple des Pilas de la Torbanite. Des carbures d'hydrogène, localisés sur un substratum organique très compliqué, ont été pris par d'habiles observateurs pour de simples amas cristallins. Je me tiens en garde contre une conclusion hâtive aussi bien dans le sens d'organismes figurés, que dans le sens d'inclusions sans substratum organisé. Pour ces très petits corps bactériformes, l'observation est particulièrement difficile. — Si l'on établit que les corps bactérioïdes sont des dépouilles de bactéries, il serait possible alors que la gelée brune eût été produite par l'activité de ces organismes. Ce serait un nouvel exemple de l'intervention des infiniment petits dans la formation des roches charbonneuses. Ce résultat marquerait, je crois, l'aurore de recherches nouvelles sur la Géogénie de certaines roches sédimentaires. Les calcaires et les argiles contiennent des corps bactériformes très semblables à ceux des roches charbonneuses. Ils y sont regardés comme des inclusions sans substratum organisé. D'autre part, on ne doit pas oublier que les roches charbonneuses sont parmi celles qui contiennent le plus de gaz libres. Le charbon de Saint-Éloy laisse échapper 6.94 de son volume de gaz libres. Il est extraordinairement riche en corps bactérioïdes.

Digitized by Google

conférence sur les *bogheads*. Pour vous faire comprendre les charbons humiques, je vous décrirai quelques exemples. Cette méthode a l'avantage de permettre le contrôle immédiat des faits que je signale sur un exemple précis. Cet exemple sert ultérieurement de type à une classe de charbons ou à une subdivision de cette classe. Il est facile d'en dégager ensuite les caractéristiques des groupes charbonneux, celles de leurs modifications secondaires, et de déterminer la valeur de ces modifications.

De même que l'industrie minière sait distinguer les charbons d'algues qu'elle appelle des *bogheads*, elle connaît très bien les charbons humiques. Les mineurs les appellent le *schiste* ou le *bon schiste*, c'est-à-dire le *schiste bitumineux* qu'on sait pouvoir distiller avantageusement pour obtenir l'huile de schiste, l'ammoniaque et les produits connexes. Le mineur oppose nettement le *schiste* à cette autre expression : les *schistes*, qu'il emploie toujours au pluriel parce qu'elle lui sert à désigner les schistes stériles, comme les schistes gris intercalés entre les couches de houille. Mais de même que l'industrie minière distingue imparfaitement les *cannels* des *bogheads*, parce qu'il y a des transitions entre ces deux classes de charbons, de même elle ne sait pas bien distinguer les *charbons humiques* des *charbons de purins* et elle applique son appellation : le *schiste* à ces deux classes de charbons.

Pour vous faire connaître les charbons humiques, je décrirai le *brown oilshale permo-carbonifère de la région de Broxburn*, puis le *schiste oligocène du Bois d'Asson*, et enfin un charbon brésilien, très probablement crétacé, que j'ai reçu sous le nom de *boghead de Ceara*.

Pour les charbons de purins, il me suffira de vous exposer la structure du *schiste permien de l'Allier*, exploité à Buxière-les-Mines et à Saint-Hilaire.

Dans chaque charbon, je passerai en revue ses trois éléments constituants : la *gelée brune fondamentale*, qui a dans les deux classes que je vais étudier une importance particulière, les *corps accidentels* qui la chargent, le *bitume* qui l'a pénétrée.

Le *brown oilshale de la région de Broxburn* (1) consiste en plaques écailleuses, contournées, à surface noire fortement vernissée, ce qui le

(1) Broxburn est un petit village d'Écosse, à l'est de Bathgate. Les puits à schiste sont à une courte distance du village dans le nord-ouest, entre Uphall et Hopetoun. Je dois les premiers échantillons de *brown oilshale* que j'ai étudiés à mon savant collègue, M. le professeur F.-O Bower, de Glasgow. Je l'en remercie tout particulièrement.

Digitized by Google

fait nommer parfois : *schiste contourné* et *schiste ciré d'Écosse*. La roche élastique et résistante a une cassure brun clair. Malgré son faciès de schiste, le *brown oilshale* doit être regardé comme un *charbon*, parce que la matière organique y prédomine optiquement sur la matière minérale et sur le bitume. C'est elle qui donne à la roche ses caractéristiques. Pondéralement, la charge de la roche en matières minérales s'élève à 67.18 % (1), mais ces matières minérales sont toutes tardivement individualisées et subordonnées au substratum organique qui les contient.

L'accumulation de matière organique qui a produit le *brown oilshale* résulte d'un dépôt plus abondant de la gelée brune qui forme la trame des schistes organiques. En coupe mince, c'est une matière amorphe, transparente, brun clair. Elle est hétérogène, zonée et finement stratifiée. La gelée brune ordinaire des schistes est mêlée ici d'une proportion variable de matière jaune, qui faisait prise comme la gelée brune et qui acquérait par degrés tous ses caractères. C'est de la gelée brune à un état d'humification moins avancé. La gelée brune et la gelée jaune sont déposées en lits. On passe insensiblement des uns aux autres. Les zones brunes sont toujours beaucoup plus chargées de menus débris et de corps bactériformes que les zones claires, jaunes ou orangées. La gelée brune est beaucoup plus chargée en cristaux. Elle a plus fortement localisé l'argile. Celle-ci s'y est individualisée tardivement en gros cristaux dressés, alors qu'elle est en petits cristaux tabulaires, couchés horizontalement, dans la gelée jaune. La consistance de la gelée fondamentale au moment du dépôt était déjà forte, les menus débris humifiés qu'elle contient y sont incomplétement affaissés. Des corps d'une certaine densité, comme des écailles ganoïdes, ne s'y enfonçaient point. *Elle arrêtait la chute des corps pesants à la manière d'une gelée aqueuse de gélose très étendue* (2). La consistance de la gelée fondamentale était plus forte dans les lits jaunes que dans les lits roux.

Les zones claires du schiste ciré d'Écosse nous apprennent ce fait très important, qu'il y a dans certains charbons *des corps jaunes amorphes dépendant directement de la gelée fondamentale*. C'est une nouvelle catégorie de corps jaunes; elle s'ajoute aux corps jaunes d'ori-

(1) Analyse de M. le professeur A. Buisine, de la Faculté des sciences de Lille, auquel j'adresse tous mes remerciments.

(2) Au sujet de quelques propriétés des gelées aqueuses de gélose, voir C.-E. Bertrand, *Premières notions sur les charbons de terre*. (Bulletin de la Société de l'Industrie minérale, séance du 14 novembre 1897, p. 6 du tiré à part.)

Digitized by Google

gine gélosique, à ceux d'origine cellulosique et à ceux d'origine osseuse.

Les deux parties de la gelée fondamentale ont donc fait prise. La consistance de la masse a été particulièrement forte, car, lors de son retrait, elle s'est contractée massivement. Elle ne montre nulle part une tendance à se déchirer en réseau. Par contre, elle s'est coupée par de grandes fentes avec tendance à décoller les lames jaunes des bandes rousses, là où l'opposition des deux états de la gelée était le plus accusé. Les morceaux se sont déplacés. Ils ont glissé les uns sur les autres sans s'érafler. Ce travail s'est donc fait dans l'eau, la masse ayant la consistance d'une gelée aqueuse de gélose à 0,006 ou 0,007. La plasticité parfaite de la masse au moment de sa déchirure est montrée par les lambeaux pliés et plissés qu'on trouve entre les parties déplacées. Macroscopiquement la roche révèle sa structure fendillée en montrant sur les tranches verticales faites à l'émeri une stratification fortement disloquée.

Par rapport à une écaille ganoïde, la contraction verticale de la gelée a été trouvée de 2.5, c'est-à-dire que cette contraction a été 2.5 fois plus forte que celle de l'écaille. Les thalles de l'*Epipolaïa Boweri*, algue gélosique libre qu'on voit de loin en loin dans le *brown oilshale*, ont agi comme corps dur par rapport à la gelée fondamentale. La consistance de la gelée du *brown oilshale* était donc encore inférieure à celle des thalles d'une algue flottante.

L'adhérence de la gelée aux corps qui y étaient englobés était déjà complète lorsqu'elle s'est déchirée sous l'action du premier retrait. On rencontre en effet des thalles, des spores qui ont été coupés par la rupture de la gelée et dont les segments ont été plus ou moins écartés par le glissement des masses où ils sont demeurés adhérents. Aucun de ces objets cependant n'est sorti de la loge où il était enfermé ou ne s'y est déplacé; ils faisaient donc corps avec la gelée entourante.

La charge de la gelée brune du *brown oilshale* en corps bactérioïdes est extrêmement faible, eu égard à ce qu'elle est dans les autres charbons. Les corps bactériformes sont ici des sphérules simples ou couplés en diplocoques de 0.5 μ à 0.8 μ de diamètre. Il y a quelques bâtonnets bacilloïdes de 2.5 μ à 4.6 μ sur 0.8 μ. Les corps en bâtonnets et en diplocoques sont couchés à plat. Les corps coccoïdes sont brillants; ils ont l'aspect de spores de bactéries, mais cet aspect est aussi celui de très fines inclusions sans substratum organisé qu'on rencontre dans les roches les plus diverses. A part leur forme, l'aspect des bacilloïdes est aussi celui des coccoïdes. Les plus

Digitized by Google

gros bacilloïdes contiennent des cristaux. J'ai trouvé les corps bactérioïdes dans un grand état de pureté sur la surface muqueuse des thalles de l'*Epipolaïa Bowerí*. Ces corps sont fortement individualisés par rapport à la gelée fondamentale. Ils s'en séparent par la taille. On les voit isolés dans les cristaux tardifs. — Bien que je ne puisse indiquer quelle est la nature de ces corps bactériformes, leur présence constante dans la gelée fondamentale en fait une des caractéristiques de cette gelée.

J'ai longuement insisté sur la gelée fondamentale du *brown oilshale*, parce que c'est la matière principale de ce charbon, celle qui lui donne ses caractères. En dehors des matières minérales tardivement individualisées, elle forme presque seule la masse du schiste ciré d'Écosse. Si nous passons aux corps accidentels qui la chargent, ceux-ci sont presque rares. Aucun d'eux n'intervient pour une proportion supérieure à 0.001 du volume total. Les *poussières végétales* sont représentées par des spores et des grains de pollen, peut-être aussi par quelques menus débris humifiés et par des lames cuticulaires. Ces deux dernières séries de corps appartiennent plus souvent à l'*apport des eaux alimentant la mare anthracigène*. — Comme *débris d'animaux*, j'ai rencontré de loin en loin une écaille ganoïde ou un fragment d'os. — Les *fleurs d'eau* sont indiquées par quelques rares thalles d'une algue flottante, l'*Epipolaïa Bowerí*. — Tous ces corps sont parfaitement conservés. On dirait qu'ils ont été fixés. Malgré leur excellente conservation, la lecture de ces corps reste très difficile, parce que le bitume qui a imprégné la masse est extrêmement pâle. Les corps où il s'est faiblement localisé sont à peine plus colorés que la gelée entourante. — J'ai reconnu sept espèces de spores, dont cinq proviennent de Cryptogames vasculaires. Il ne m'a pas été possible de déterminer si le pollen provenait d'une ou de plusieurs espèces végétales. — Les menus débris végétaux humifiés sont très fragmentaires. Ce sont des lambeaux de parois colorés en brun-noir. Ils ne sont pas affaissés. Leurs cavités sont comblées par du bitume. — Les parties osseuses des écailles et des fragments squelettiques sont à l'état de corps jaunes. Je n'ai pas vu de bactéries dans les prolongements canaliculaires des cellules osseuses. Les plaques d'émail sont souvent intactes.

Il n'y a pas de parcelles minérales clastiques, pas même une lamelle de mica.

La masse organique du *brown oilshale* a été pénétrée par le bitume. Cette pénétration a été tardive. Elle s'est faite par une sorte de diffusion générale à travers la substance de la gelée fondamentale. D'une part, en effet, le bitume ne forme pas de masses libres injectées dans

Digitized by Google

la gelée ou placées entre ses feuillets et, d'autre part, on voit que le bitume a comblé la cavité des lambeaux humifiés noyés dans la gelée, même dans la gelée jaune. On voit aussi que le bitume libre comble les cavités demeurées ouvertes entre les fragments déplacés de la gelée fondamentale. Le bitume a les mêmes caractères optiques dans les cavités de lambeaux humifiés et dans les fissures de la gelée. Il n'a donc pas été altéré par filtration. Il s'agit d'un bitume brun clair très peu condensé.

Comme autre matière introduite tardivement par filtration, je signalerai de petites gouttelettes jaune d'or ou orangées, ramassées parfois en petites masses concrétées. Elles nous apprennent qu'on peut rencontrer dans certains charbons des *corps jaunes tardifs d'origine minérale*. Ils sont ici fort peu nombreux. Ils deviennent très abondants dans d'autres charbons.

Voici donc un charbon formé d'une gelée brune à laquelle nous reconnaissons toutes les qualités de la trame brune des schistes organiques. Les deux gelées ont le même aspect optique. Elles ont fait prise toutes deux et elles se déchirent de la même manière. Elles sont chargées des mêmes corps bactériformes. Elles conservent également bien les corps accidentels, tout comme la gelée brune des *bogheads*. Dans le *schiste de l'Allier*, nous verrons la gelée du charbon se continuer directement avec la gelée des schistes organiques. L'identification de la gelée brune du *brown oilshale* avec celle des schistes organiques est donc justifiée. — La stratification régulière et zonée de cette gelée dans le *brown oilshale* nous apprend, en l'absence de toute parcelle clastique, qu'elle s'est déposée dans un milieu parfaitement tranquille. — Ses corps accidentels, spores, pollen, fleurs d'eau, corps humifiés, nous ajoutent que les conditions de sa formation ne diffèrent de celles des *bogheads* que par un seul point : *une moindre proportion de l'intervention gélosique*. — Les matières animales sont trop rares dans le *brown oilshale* pour qu'il soit possible, en l'absence d'Ostracodes, de leur attribuer une intervention appréciable dans la formation de la gelée fondamentale. — Je conclurai pour le *brown oilshale : charbon formé dans des eaux brunes tranquilles, par simple précipitation de la matière humique pendant le temps des basses eaux, dans une période où les fleurs d'eau n'étaient pas abondantes*. Ce dernier fait si simple suffit à donner un type de roche charbonneuse tout autre que les *bogheads*. Les carbures d'hydrogène apportés par l'imprégnation bitumineuse n'y ont pas été retenus de la même manière. La différence du charbon humique et du *boghead* s'accentue encore parce que la gelée brune est apte à localiser une

Digitized by Google

grande charge de matières minérales. Lorsque ce fait, très secondaire pour l'histoire générale des charbons, s'est réalisé, le charbon humique prend un aspect schisteux.

Le *schiste du Bois d'Asson* est une roche feuilletée de couleur marron qui devient gris-bleu par son exposition à l'air. Sa tranche verticale brun clair est finement cannelée. La stratification est soulignée par des fissures horizontales (1).

Malgré son aspect schisteux, la roche du Bois d'Asson doit être regardée encore comme un charbon parce que la matière organique y prédomine optiquement d'une façon très nette sur les matières minérales tardives et sur le bitume. Pondéralement, la charge de ce schiste en matières minérales s'élève à 62.79 % dont 39.95 de silice insoluble dans l'acide chlorhydrique (2). Une grande partie de cette silice est à l'état d'organites figurés, valves de Diatomées et spicules d'éponges.

Comme le *brown oilshale*, le schiste du Bois d'Asson résulte d'une accumulation de la gelée brune qui forme la trame des schistes organiques. Cette gelée humique est la matière qui prédomine optiquement sur tout le reste; il s'agit donc d'un charbon humique. La gelée est brun clair, très pâle, *presque jaune*, de structure uniforme dans toute sa hauteur. Elle a fait prise comme celle du *brown oilshale*, mais sa consistance était moins forte. Elle a donc pris une structure très légèrement réticulée, à l'exemple des gelées gélosiques très claires, au titre de trois ou quatre millièmes (3). En quelques points où le réticulum a cédé, il s'est produit des déchirures comblées de suite par un exsudat *dans lequel s'est localisée plus tard la matière minérale*. Les fentes horizontales placées entre les bancs de la masse schisteuse ne sont que des fissures du réticulum tardivement agrandies. La contraction verticale

(1) Le *schiste oligocène du Bois d'Asson*, que j'ai reçu d'abord sous les noms de *schiste de Marseille*, puis de *schiste de Biabaux*, est exploité d'une manière intermittente dans la *gorge du Bois d'Asson*, vallée de la Largue (Basses-Alpes). Le principal banc de schiste affleure dans la gorge, à une petite distance derrière la mine de lignite. On voit plusieurs couches du même schiste au tournant de la route de Dauphin, à Volx, sur les deux faces de l'éperon qui précède la gorge du Bois d'Asson.

(2) Analyse de M. le professeur A. Buisine, de Lille.

(3) Voir C. E. Bertrand, *Premières notions sur les charbons de terre*, pp. 6 et suivantes. Du fait que les spicules fusiformes ne s'y enfonçaient point et qu'ils y sont couchés horizontalement avec une très grande régularité, je conclus que la consistance de la gelée était supérieure à celle d'une gélose à 0.002, et inférieure à celle d'une gélose à 0.004. La première laisserait descendre les spicules, la seconde aurait retenu des spicules piqués en position instable.

Digitized by Google

de la gelée, déterminée par rapport aux spicules fusiformes et aux grands disques d'*Orthosira*, est de 2.0.

Les déchirures horizontales de la gelée primitive ont été comblées par une gelée plus claire, très pâle, tenant en suspension les Diatomées les plus légères et les spicules sphérulaires les plus petits de la gelée primitive.

Par rapport aux charbons ordinaires, la charge de la gelée fondamentale en bactérioïdes est très faible. Par contre, elle paraît très forte si on la compare à la charge de cette gelée en menus débris végétaux humifiés. Le schiste du Bois d'Asson est un des rares exemples où il n'y a pas concordance entre la quantité des corps bactérioïdes et celle des menus débris humifiés. Les corps bactériformes sont ici des micrococcoïdes très petits de 0.2 μ, des macrococcoïdes de 0.7 μ à 1.2 μ, des bacilloïdes de 3 à 4 μ sur 0.5 μ à 0.7 μ. Ces derniers sont souvent redressés ou tordus, rappelant les germinations de certaines bactéries. Tous les corps bactériformes sont bullaires. Ils sont particulièrement nets et très régulièrement répartis dans la matière qui a comblé les grandes déchirures de la gelée fondamentale.

Entre la gelée fondamentale du schiste permo-carbonifère et celle du schiste oligocène, il n'y a donc comme différence importante que la structure légèrement réticulée de la dernière. Cet état nous intéresse parce que c'est le début de la structure réticulaire très lâche que prend la gelée fondamentale dans les schistes organiques.

Le gelée fondamentale du schiste du Bois d'Asson contient de nombreux corps accidentels. Ce sont : 1° de nombreux grains de pollen; 2° quelques rares spores; 3° d'assez nombreux exemplaires d'une algue gélatineuse à structure rayonnée que j'ai nommée *Botryococcites Largæ*; 4° quelques débris humifiés, restes de végétaux et de petits lambeaux chitineux d'origine animale; 5° des valves couplées de Diatomées d'eau douce; 6° des spicules d'éponges; 7° des fragments de corps résineux. Les grains de pollen, les spores, les thalles de *Botryococcites* et les fragments résineux sont à l'état de corps jaunes. Nous connaissons les trois premières catégories. Nous rencontrons pour la première fois les corps jaunes d'origine résineuse. Ces corps sont encore rares dans le schiste du Bois d'Asson. Une préparation de 2 à 3 centimètres carrés en montre seulement un ou deux exemplaires. Ce sont des masses, jaune de cadmium, à angles mousses homogènes ou exceptionnellement bullaires.

Il y a 1,536 grains de pollen par millimètre cube; ces organites forment 0.003 du volume de la roche. Les grains sont couchés à plat, complétement affaissés. Je signalerai un fait très remarquable à propos

Digitized by Google

de ce pollen, fait qui me paraît de nature à montrer l'extrême réserve qu'il convient de toujours conserver dans l'analyse optique des charbons. Sur les coupes verticales d'épaisseur moyenne, les grains de pollen sont très visibles; par contre, les coupes de valves de Diatomées échappent complétement, à l'exception des grands disques d'*Orthosira*. Lorsque les coupes sont plus minces, la visibilité des grains de pollen diminue; inversement, celle des coupes de Diatomées augmente. Sur les coupes très minces, on ne voit que les Diatomées et pas du tout les grains de pollen. Sur les coupes horizontales, les grains de pollen échappent complétement; les Diatomées sont très visibles : on peut étudier les plus fines ornementations de leurs valves. Je relève ces faits parce qu'ils montrent avec quelle facilité des organites d'un certain volume et à parois très différenciées peuvent nous échapper. Qu'est-ce donc quand il s'agit d'êtres dont les enveloppes albuminoïdes sont peu différentes du protoplasme? J'estime, malgré tout le soin que j'ai pu apporter à ces travaux, qu'ils ne doivent être considérés que comme un premier aperçu qui jalonne de loin en loin la route des recherches futures. Je ne puis guère étudier que les coupes toutes montées. Je les colore rarement. Il y a là une technique de teinture par élection qui est à créer. Elle rendrait de grands services et elle mettrait peut-être en évidence des organismes de même réfringence et de même coloration que la gelée fondamentale. On arrivera par ces méthodes, que je ne fais qu'entrevoir, à préciser davantage les conditions de la formation des divers charbons. C'est aux jeunes, à ceux qui débutent et qui demandent des sujets de thèses, à explorer cette voie. Il faudra savoir sacrifier de belles préparations dans les premiers essais, mais je crois que les résultats paieront largement l'effort qu'ils auront demandé.

Il y a 224 thalles de *Botryococcites Largæ* par millimètre cube. Ils interviennent pour 0.004 dans le volume du schiste. Le *Botryococcites* est une algue libre à structure rayonnée, *avec une gelée épaisse interposée entre des cellules ovoïdes à parois épaisses*. Les thalles sont très affaissés, couchés à plat, isolés les uns des autres et uniformément répartis. Leurs protoplastes sont très faiblement colorés.

Les menus débris végétaux humifiés sont rares. Ce sont ordinairement des fragments de parois fortement noircis, presque fusinifiés. J'ai vu quelques fragments de feuilles moins fortement humifiés, qui avaient retenu du bitume. J'ai rencontré aussi quelques grosses spores bicellulaires dont les parois sont imprégnées de bitume.

Les mêmes débris animaux cornés ou chitineux sont plus fréquents que les débris végétaux.

Digitized by Google

Le schiste du Bois d'Asson est le premier exemple, parmi les charbons que j'ai décrits, où nous constations la présence des Diatomées. Elles sont couchées à plat. Les deux valves sont unies, mais écrasées par le retrait. Entre les valves est une gelée jaune clair, amorphe. Le fait est très visible dans les gros disques d'*Orthosira,* dont la gelée intérieure contient parfois quelques micrococcoïdes et d'autres fois de la gelée colorée par le bitume. Je crois que cette gelée jaune, comme celle qui emplit le canal des spicules fusiformes, est une matière introduite par filtration et non pas le protoplasme de la Diatomée. Il s'agirait donc de Diatomées mortes, ayant flotté, englobées ensuite par la gelée fondamentale lors de la précipitation. Ces Diatomées ayant toujours leurs deux valves, ne peuvent venir de loin. Les sept espèces que j'ai reconnues se rapprochent beaucoup de Diatomées d'eau douce actuelles. La plus fréquente ressemble au *Melosira varians*. Un grand *Orthosira*, très visible à cause de sa grande taille et de ses valves épaisses, rappelle notre *Orthosira arenaria*.

Les spicules d'éponges sont très nombreux. Ceux qui frappent tout d'abord sont des spicules lourds, fusiformes ou en navette, semblables à ceux qu'on trouve dans le parenchyme de la *Spongilla fluviatilis*. Il y a aussi des spicules haltériformes tels que ceux de l'assise cellulaire qui borde les grands canaux de la *Spongilla*. Toutefois ces spicules étant moins hérissés de pointes dans le fossile des Basses-Alpes que dans la *Spongilla,* il y a entre le vivant et le fossile au moins une différence spécifique. Il y a de plus de très nombreux spicules sphérulaires qu'on ne connaît pas dans notre éponge d'eau douce. Les spicules sont isolés. On ne voit rien autour d'eux qui puisse se rapporter aux tissus d'une éponge. Les spicules fusiformes et haltériformes sont couchés à plat. Il s'agit de spicules libérés et flottés, tombés dans une gelée assez consistante pour les arrêter dans leur chute.

Il n'y a aucune parcelle clastique dans la gelée fondamentale. Les roches encaissantes des bancs de schiste sont elles-mêmes très fines.

Le bitume joue un rôle important dans le schiste du Bois d'Asson. Il s'y manifeste d'une manière très spéciale. En dehors des cavités des spicules et des *Orthosira* où il a teinté par diffusion la gelée de remplissage, il consiste en lames minces et en gouttelettes rouge-brun. Les gouttelettes sont plus ou moins affaissées, la gouttelette se prolongeant parfois par des fils ténus qui font penser à une injection fine. Les lames minces ont été rapidement solidifiées. Les gouttelettes se sont solidifiées plus ou moins vite de la surface au centre. Beaucoup contiennent des bulles qui sont pour la plupart affaissées et transformées en disques

Digitized by Google

plats, lenticulaires. Un moindre nombre ont leurs bulles centrales sphériques. Lames et gouttelettes ont une structure fluidale qui fait écarter la notion de coprolithes. On ne voit pas de débris d'os, d'écailles ou de fragments végétaux. Il n'y a ni bactéries ni granulations cellulaires. S'agirait-il de gouttelettes figeables à la manière des corps gras, gouttelettes qui auraient été entraînées au fond en même temps que la gelée fondamentale et qui se seraient ultérieurement chargées de bitume par action élective? L'aspect du bitume trouvé dans la cavité des *Orthosira* donne une apparence de justification à cette hypothèse, mais les fils et les fines lamelles qui partent des gouttelettes sont beaucoup plus favorables à la notion de matière injectée. Des masses étendues de ces corps rouge-brun, directement superposées, ne se fusionnaient pas; la solidification du bitume s'est donc faite rapidement. Le bitume n'englobe ni les spicules ni les Diatomées, ce qui paraît inconciliable avec la notion de gouttelettes descendues de la surface en même temps que les autres corps. Ceci me détermine à fixer la pénétration de la matière rouge-brun après la prise de la gelée fondamentale, mais antérieurement à ses déchirures horizontales, car le bitume n'a pas passé par ces grandes fentes.

L'intervention du bitume peut être appréciée par les nombres suivants : Il y a 420 gouttelettes par millimètre cube. Il y en a 14 rangées environ dans 1 millimètre de hauteur et 5 à 6 sur 1 millimètre de longueur. Leur coefficient vertical est 0.088; le coefficient horizontal, 0.170. Elles forment 0.036 du volume total du schiste. Sur la cassure verticale fraîche du schiste, les grosses gouttelettes de bitume se voient comme de très petits traits horizontaux noirs et brillants, noyés dans un fond roux terne.

Les masses bitumineuses ne contiennent pas de corps bactériformes. La contraction du bitume a été sensiblement plus forte que celle de la gelée entourante. Les plus grosses gouttes de bitume sont séparées de la gelée par un arc plus ou moins étendu de cristaux tardifs.

Cette description sommaire du schiste du Bois d'Asson ajoute à la notion de charbon humique les faits suivants. La gelée brune, de consistance plus faible, tend à prendre une structure réticulaire. Les charbons humiques se relient directement aux charbons d'algues. Ils se sont formés dans les mêmes conditions, l'intervention gélosique due au développement des fleurs d'eau demeurant très faible et devenant parfois presque nulle, comme dans le *brown oilshale*. Il s'agit de formations d'eau douce. Le fait était sujet à répétition dans un système de couches lacustres. Le bitume individualisé en gouttelettes figées inter-

Digitized by Google

vient d'une façon très appréciable. La liste des variétés de corps jaunes que l'on peut rencontrer dans les charbons s'est accrue des corps jaunes d'origine résineuse englobés par la gelée fondamentale lors de son dépôt.

Le *charbon de Ceara* présente pour mon sujet un très grand intérêt. Son faciès macroscopique est celui d'un charbon commercial à ce point que des industriels l'ont pris pour un *boghead*. C'est une roche élastique, tenace, finement stratifiée, à cassure verticale lustrée, presque vitreuse. Comme caractère secondaire, très commode pour la diagnose, on y remarque de distance en distance des oolithes blanches ou brun pâle dont la calcite de remplissage est d'origine tardive (1).

Le charbon de Ceara n'est pas un *boghead*, il ne contient pas d'algues; les carbures d'hydrogène, apportés par l'imprégnation bitumineuse, n'y sont donc pas retenus par la matière gélosique. Le charbon de Ceara est un charbon humique dont la charge en matières minérales est très faible. L'analyse (2) accuse 40.65 % de matières minérales, mais sur ce nombre près de 22.40 % de carbonate de calcium sont ramassés dans les oolithes. Il n'y a donc que 18.25 % de matières minérales réellement incorporées à la masse du charbon. Ainsi, *quand dans une accumulation de gelée humique soumise à l'imprégnation bitumineuse, la charge en matières minérales reste faible, la roche a les caractères macroscopiques d'un charbon.* Cette remarque est la justification expérimentale de l'extension que je donne au terme *charbon*. « *Un charbon est une roche produite par une accumulation de matières organiques dans laquelle celles-ci jouent optiquement le principal rôle et donnent à la roche ses caractéristiques essentielles* (3). » La roche de Ceara est bien un charbon, parce que la matière organique y prédomine optiquement sur la matière minérale tardivement individualisée et sur le bitume.

Le charbon de Ceara résulte d'une accumulation de la gelée brune

(1) Je dois cet échantillon et les premières préparations que j'ai étudiées à l'amitié de M. B. Renault. Il avait reçu ce spécimen de M. Bayle, directeur de la Compagnie lyonnaise.

(2) Analyse faite par M. le professeur A. Buisine, de Lille.

(3) Par opposition, « *un schiste organique est une roche où les matières minérales » accumulées dans un substratum organique sont si abondantes qu'elles jouent le rôle » principal et donnent les caractéristiques essentielles de la roche* ». On prévoit par ces définitions qu'on passe des charbons aux schistes organiques par des transitions insensibles. Dans tous les exemples de charbons que j'ai décrits jusqu'ici, on peut remarquer que l'accumulation de matière organique a été soumise ultérieurement à un enrichissement de la masse en hydrocarbures par une infiltration bitumineuse.

Digitized by Google

fondamentale qui forme la trame des schistes organiques. Cette gelée a une structure uniforme dans toute sa hauteur. Elle n'est pas différenciée en zones jaune d'or et en zones rousses. Elle est assez fortement colorée. Cette gelée était très consistante, comme le montrent la manière dont elle s'est coupée et cet autre fait que des coquilles d'Ostracodes y sont parfois posées en équilibre instable, maintenues dans cette situation par la rigidité de la gelée. La gelée a fait prise. En se contractant, elle s'est coupée comme la gelée du *brown oilshale*. Les morceaux ont glissé les uns sur les autres, mais ces déplacements sont peu étendus et *limités à des points isolés dans l'étendue du charbon*.

Les corps bactériformes sont très peu abondants; ce sont surtout des micrococcoïdes bullaires. Certains sont entourés d'un cristal et agglomérés en boules qu'il ne faut pas confondre avec des zooglées. Il y a seulement quelques rares diplocoques et quelques bacilloïdes.

La gelée fondamentale du charbon de Ceara répète donc les gelées que nous connaissons. Comme elle forme la presque totalité du charbon, c'est sa cassure vitreuse que nous apprenons à lire sur les ruptures verticales de la roche. C'est sa section verticale jaune-brun foncé que nous montrent les tranches faites à l'émeri. D'après cela, il semble que la description du charbon de Ceara aurait pu être évitée. Un mot ajouté à celle du *brown oilshale* suffisait pour dire qu'une masse de gelée brune consistante, moins riche en matières minérales tardives, donne une roche à faciès macroscopique de charbon. Ce sont les corps accidentels du charbon de Ceara qui me forcent à m'arrêter sur cet exemple. Ces corps accidentels sont des corps jaunes, lamellaires, très petits et très peu nombreux; des amas rouge-brun qu'on prend au premier abord pour de très petits coprolithes ou pour des gouttelettes bitumineuses affaissées, et des coquilles d'Ostracodes.

Les corps jaunes sont rares, très difficilement visibles. Il faut les chercher avec une extrême attention sur des coupes parfaitement planes. Comme corps d'origine cellulosique, il y a quelques très rares spores de Cryptogames vasculaires et des grains de pollen groupés en tétrades, comme ceux de l'ordre des Bicornes, *Rhododendron*, *Erica*, etc. Il y a seulement 80 de ces grains de pollen par millimètre cube. Ils sont admirablement conservés. On reconnaît le détail des stries d'ornementation de la surface des grains. Les corps gélosiques sont représentés par une algue gélatineuse à structure rayonnée libre et flottante. Les exemplaires de cette algue sont si peu nombreux qu'il ne m'a pas été possible de la caractériser comme genre (1). Elle ressemble un peu

(1) On en trouve un exemplaire sur une surface de 54 centimètres carrés de section.

Digitized by Google

au *Botryococcites*. Les spores et le pollen nous indiquent des pluies de soufre moins abondantes. L'algue prouve que la vie des algues pélagiques était encore possible dans l'eau brune génératrice de ce charbon.

Les menus débris végétaux humifiés sont extrêmement rares. Ce sont des fragments de parois très petits, très altérés, mais incomplétement affaissés. Ils ont été soutenus par la consistance de la gelée. Nous retrouvons ici la concordance ordinaire entre la charge de la gelée en menus débris et sa richesse relative en bactérioïdes.

Les amas rouge-brun affaissés, qui sont assez nombreux et très uniformément répartis dans la masse, ne sont ni des coprolithes ni des gouttelettes affaissées. *Ce sont des pelotons de conidies et de filaments mycéliens d'une Mucédinée.* Les conidies peuvent être seules. Ces corps sont très bien conservés. Les parois assez fortement colorées ont condensé le bitume. La présence de ces pelotons de Mucédinées dénote une eau génératrice à la fois parfaitement tranquille et particulièrement riche en matières nutritives. Les Mucédinées sont en effet nos moisissures communes.

Le charbon de Ceara contient d'assez nombreuses coquilles d'un Ostracode voisin des *Cypris*. Le Crustacé de Ceara avait sa coquille lisse, sans poils, bordée le long de la fente ventrale par un fort rebord interne. Les deux valves sont ordinairement couplées et couchées sur le flanc, l'une en dessous, l'autre en dessus. J'ai trouvé quelques rares coquilles isolées et quelques exemples de coquilles dont les deux valves sont dressées, le bord dorsal étant en haut. Toutes ces coquilles sont vides. Je n'ai pas pu y trouver trace de la peau ni de la masse musculo-viscérale des *Cypris*. La plupart des coquilles ont été effondrées par le retrait de la gelée. Les morceaux des valves opposées sont rapprochés, mais non pas directement appliqués l'un sur l'autre. Ce n'est donc point le tassement ou une pression verticale qui a provoqué l'effondrement des coquilles. Certains morceaux de coquille ont été parfois redressés par l'effondrement; ils coupent la gelée fondamentale. On voit de nombreux exemples de coquilles où la gelée fondamentale, nettement coupée, s'insinue légèrement entre deux morceaux de la valve effondrée, laissant la coquille non remplie. Une gelée homogène, très claire, teintée par le bitume, sorte de filtrat sorti de la gelée fondamentale, comble la cavité de la coquille. Ceci montre la rigidité acquise par la gelée lorsque les coquilles se sont effondrées.

Dans les coquilles non effondrées, la calcite a cristallisé en aiguilles rayonnantes qui s'appuient par une extrémité sur la coquille et dont l'autre extrémité s'avance près de la surface de symétrie de l'animal.

Digitized by Google

Il reste un vide le long du bord ventral et des bords antérieur et postérieur. Cet espace est rempli par le même fluide brun clair, chargé de bitume, que nous avons vu entre les valves des coquilles effondrées. Les corps bactérioïdes sont rares dans cette gelée de remplissage, mais il en existe des exemples bien constatés.

Par rapport aux coquilles non effondrées, la contraction verticale de la gelée fondamentale est de 2.5. La contraction horizontale varie de 1.3 à 1.5. Près de quelques points où les coquilles étaient plus nombreuses, il s'est formé de très grands oolithes qui ne sont plus enfermés dans les coquilles.

Bien qu'il s'agisse de coquilles d'Ostracodes vidées qui ont flotté à la surface de l'eau, comme les valves sont demeurées unies deux à deux, je conclus que si un transport *post mortem* a eu lieu, il a été extrêmement faible. On doit donc admettre que les *Cypris* de Ceara ont vécu dans la mare où s'amassait la matière organique. La présence de ces Ostracodes nous indique qu'il s'agit de liqueurs riches en matières organiques et en particulier en produits animaux. Les mares dont les eaux sont souillées par le trop-plein des fosses à purin sont le milieu favori des *Cypris*. En été, ils y deviennent si nombreux qu'ils colorent l'eau en rouge sang. Ce résultat, rapproché de la présence des Mucédinées, nous donne la notion *d'une gelée humique fondamentale se déposant dans une eau brune additionnée d'une proportion sensible de matières animales*. Le charbon de Ceara nous apparaît ainsi comme une variété des charbons humiques. Aux conditions ordinaires de la genèse de ces charbons s'ajoute une condition nouvelle : *la présence de matières animales dans le milieu générateur*.

Un tel milieu devait être très chargé d'organismes inférieurs de toutes sortes : infusoires, etc. Comme la conservation des objets y est parfaite, j'ai recherché spécialement dans cette gelée la trace de ces êtres. Je n'ai rien vu qui établit leur existence. L'échec de ces recherches ne correspond peut-être qu'à l'emploi d'une technique insuffisante; mais, d'autre part, n'y a-t-il pas là l'indice de phénomènes remarquables de fixation ?

L'intervention du bitume a été tardive. Il s'agit d'un bitume peu coloré et peu concentré. Il a diffusé à travers toute la masse. Il n'y est pas localisé en gouttelettes. Le bitume comble les fentes de la gelée et teint la matière de remplissage des coquilles et des cavités des oolithes.

Le charbon de Ceara est donc un charbon humique. L'eau brune génératrice, additionnée de matières animales, a permis la multiplication

Digitized by Google

d'un Crustacé Ostracode et d'une Mucédinée. La pauvreté relative de cette eau en matières minérales a laissé à la roche ses caractères de charbon. La matière organique a été soumise à un enrichissement en hydrocarbures par une infiltration bitumineuse tardive.

Pour cette première partie de ma conférence sur les charbons humiques, je conclurai de la manière suivante :

Les trois charbons humiques que j'ai cités montrent que, des temps carbonifères à l'époque oligocène, la formation des roches charbonneuses par accumulation de la gelée brune fondamentale des schistes organiques est un phénomène régulier, qui s'est reproduit avec les mêmes caractères essentiels. La notion de charbon humique n'est donc pas un fait exceptionnel. Elle répond à une classe de charbons où les organismes figurés, à part peut-être les bactéries, ne prennent pas directement part à leur formation.

En nous donnant la notion de charbons amorphes, les charbons humiques modifient profondément la conception qu'on s'était faite des roches charbonneuses. La définition qu'on avait donnée des charbons : *des accumulations de matières végétales*, ne leur est pas applicable. Il faut modifier cette définition comme je l'ai indiqué, en lui donnant une plus grande extension.

En nous présentant le mode d'intervention de la gelée brune dans la formation des charbons débarrassé des causes accidentelles qui nous le masquent d'ordinaire, les charbons humiques nous donnent la première idée des conditions nécessaires à la formation des roches charbonneuses.

Les conditions de formation des charbons humiques sont des eaux brunes tranquilles, laissant précipiter leurs matières humiques au temps des basses eaux, alors que les algues gélosiques sont encore peu abondantes. La masse est enrichie en hydrocarbures par une infiltration bitumineuse plus ou moins tardive. Lorsque les conditions ont été très favorables, comme dans le système lacustre du Bois d'Asson, la gelée humique a formé plusieurs couches successives dont l'ensemble présente une certaine épaisseur.

Les charbons humiques sont de simples incidents au cours de la formation de schistes organiques. Ils relient entre eux les schistes et les charbons à corps accidentels dominants.

En général, les charbons humiques ont l'aspect de schistes bitumineux, parce que leur gelée fondamentale, éminemment apte à se charger de matières minérales, a pu les localiser fortement. Lorsque les

Digitized by Google

conditions locales ont été telles que cette charge demeurât faible, comme dans la roche de Ceara, celle-ci conserve le faciès d'un charbon à cassure noire et vitreuse.

Dans les charbons de gelée brune pure, la rétention du bitume a été faible. Elle s'est faite par une sorte d'imbibition de cette gelée. La distillation de tels charbons donnera par suite de tout autres résultats que la distillation des charbons gélosiques. La localisation des carbures éclairants sur les matières gélosiques et cellulosiques non humifiées s'y fait pourtant comme dans les *bogheads*, ainsi que le montrent les thalles, le pollen et les spores conservés à l'état de corps jaunes.

Le *brown oilshale* réalise le charbon humique type. Le schiste du Bois d'Asson montre la liaison des charbons humiques avec les charbons d'algues. Le charbon de Ceara, par ses Mucédinées et ses Ostracodes, nous a appris que des matières animales pouvaient s'ajouter en quantité appréciable à l'eau génératrice de la gelée brune. Il nous a appris de plus qu'un charbon humique se présente normalement avec le faciès de charbon.

Ce que j'ai dit des *charbons humiques* va nous permettre de comprendre les *charbons de purins*. Un exemple, celui du schiste bitumineux de l'Allier, me suffira pour caractériser cette nouvelle classe de charbons.

La roche de Ceara nous a montré un charbon humique formé dans une eau génératrice qui contenait une certaine quantité de matières animales. Cette notion résulte de la présence des *Cypris*. La puissance nutritive plus grande de cette eau est attestée par la Mucédinée. Dans le schiste de Buxière et de Saint-Hilaire, la gelée fondamentale, chargée d'une proportion notable de produits stercoraux, voit par ce fait sa capacité de rétention du bitume augmentée, ce qui nous donne un autre type de charbon. L'eau génératrice de ce charbon était semblable à un purin concentré. Chaque fois que cette eau se diluait suffisamment, les Ostracodes apparaissaient (1).

(1) Je dois les premiers échantillons des schistes de l'Allier que j'aie étudiés, à mon ami M. B. Renault. J'ai reçu en 1896 deux collections très complètes, l'une qui provient du puits du Meglin, dépendant de Buxière, l'autre qui provient du puits Saint-François, dépendant de Saint-Hilaire. La première a été rassemblée par les soins de M. A. Duchet, propriétaire de Buxière, de M. Roux, ingénieur-directeur, et de M. Dumas, chef-mineur; la seconde, par les soins de M. l'ingénieur Castaignier, directeur de Saint-Hilaire. Je prie ces Messieurs d'agréer l'expression de ma gratitude. Aux noms de ces Messieurs je dois joindre celui de M. l'ingénieur Heliot, directeur actuel de Buxière, et celui de

Digitized by Google

Je décrirai spécialement le schiste de la couche dite *Têtes-de-chats*, dans le gisement de Buxière. C'est au moment de sa formation que l'eau génératrice a présenté son maximum de concentration.

M. l'ingénieur Faibie, directeur actuel de Saint-Hilaire, pour l'amabilité avec laquelle ils se sont mis à ma disposition lors de la visite que j'ai faite aux gisements de l'Allier.

Voici les coupes de ces deux gisements :

Coupes stratigraphiques des schistes bitumineux de l'Allier.

		Partie bitumineuse.	Partie stérile.	
	Puits du Meglin. Buxière-les-Mines.			
	Toit.			
1	Gazon	0.25 —	— 0.03	Schiste organique à Ostracodes et à coprolithes transparents.
2	Taille	0.47	—	Charbon de purin.
3	Matières	—	0.30	Schiste organique à Ostracodes, à *bacilles coprophiles* et à *Micrococcus lepidophagus*.
4	Grès et sables	—	0.03	Non encore étudié (*).
5	Banc carré	0.11	—	Charbon de purin.
6	Feuilletage présentant de distance en distance des lits bitumineux.	—	0.65	Schiste gris contenant encore une trame organique.
7	Matières, subdivisées parfois en deux lits.	— —	0 09 0.12	Schiste à Ostracodes
7bis	Caillou.	—	0.10	Schiste à Ostracodes.
7ter	Troisième banc subdivisé parfois en trois lits.	— — —	0.09 0.10 0 10	Schiste à Ostracodes
8	Têtes-de-chats	0.15	—	Charbon de purin à *Zoogleïtes elaverensis*.
9	Grès gris noirâtre à végétaux.	—	0.33	Schiste organique grossier avec débris végétaux en charbon brillant craquelé.
10	Sous-cave.	—	0 10	Schiste gris à trame organique.
11	Colles	—	0.10	Schiste organique
12	Feuilles de la grosse couche.	0.12	—	Schiste à Ostracodes.
13	Grosse couche	0.60	— — —	Schiste à Ostracodes Zone à nodules siliceux. Charbon de purin.
	Mur.			
	Puits Saint-François et puits Saint-Charles Saint-Hilaire.			
	Toit.			
1	Les colles.	0.18		Charbon de purin.
2	Le grand banc dit « le Méchant ».	0.50		Charbon de purin avec des zones de schistes à Ostracodes.
3	La Barre, avec écailles de poissons.	0.40		Charbon de purin.
4	La Riffle			Charbon de purin.
5	Banc blanc	0.002		Non encore étudié.
6	Havage.	0.15		Non encore étudié.
	Mur.			

(*) N'est ce pas une simple fente horizontale remplie par de la matière minérale tardive, comme la barre du schiste qui recouvre le *boghead* d'Autun ?

Digitized by Google

Le schiste des têtes-de-chats est un charbon, parce que la matière organique y prédomine optiquement sur les matières minérales et sur le bitume. Toutefois cette prédominance est peu accusée. La gelée fondamentale, fortement déchirée, est chargée d'une quantité considérable de matières minérales. Il y a 77.12 % de ces matières minérales (1). On y voit de nombreuses parcelles clastiques de mica. On est donc près de cette limite où la roche cesse d'être un charbon pour devenir un charbon organique dans lequel la trame organique joue un rôle très important.

Le schiste des têtes-de-chats est une accumulation de gelée brune fortement chargée de corps accidentels. Au premier rang de ceux-ci sont des coprolithes de reptiles ichtyophages. Les uns sont entiers, les autres, le plus grand nombre, sont plus ou moins complétement éparpillés. Les coprolithes ne sont pas encore assez nombreux pour dominer sur tout le reste et pour donner à la roche ses caractéristiques essentielles : ce n'est donc pas un *charbon de coprolithes*. Les coprolithes sont toutefois assez nombreux et tellement répartis à travers la gelée que celle-ci est nécessairement chargée de produits stercoraux dans toutes ses parties. Ce n'est donc plus la gelée humique pure du *brown oilshale* et du schiste du Bois d'Asson, c'est une gelée brune, très chargée de matières stercoraires, contenant des masses de charbon de coprolithes, chaque coprolithe, imbibé de bitume, ayant fourni son nodule de charbon.

La gelée fondamentale est fortement colorée en rouge-brun foncé. Elle a retenu beaucoup de bitume. Elle est largement déchirée en réseau, les fils du réseau étant eux-mêmes criblés de petites fentes. La gelée est chargée d'une quantité extraordinaire de corps bactériformes, micrococcoïdes, macrococcoïdes, bacilloïdes. *Ces corps, à contours très nets, se détachent en clair sur le fond coloré.* S'il s'agit de restes d'organismes figurés, leur mode de conservation est très différent de celui des bactéries fixées dans le mucus des coprolithes et de celui du *Zoogleïtes elaverensis*. La contraction verticale de la gelée est particulièrement forte : elle a été trouvée de 3.7 à 4.0 par rapport à des parcelles de mica et à des plaques d'émail. Les coprolithes sont beaucoup moins contractés que la gelée qui les entoure. Ils ont agi comme des corps très durs par rapport à celle-ci.

La gelée du schiste de l'Allier contient de nombreux corps jaunes qui sont tous d'origine accidentelle. Il y a plusieurs espèces de spores de Cryptogames vasculaires, deux espèces de grains de pollen, des écailles

(1) Analyse de M. le professeur A. Buisine.

Digitized by Google

et des os tombés pour la plupart des coprolithes. On compte en moyenne 27,200 grains de pollen par millimètre cube dans le schiste des têtes-de-chats. Ce nombre s'élève à 540,000 dans certaines zones où le pollen devient prédominant au point de former des pellicules d'un véritable charbon pollinique. On peut y rencontrer des sacs polliniques entiers, encore pleins de leurs grains de pollen. Les pluies de soufre étaient si abondantes que l'eau génératrice du charbon devait en être rendue laiteuse. Un tel milieu a dû, semble-t-il, renfermer une foule d'organismes inférieurs. Malgré une étude spéciale de la gelée brune à ce point de vue, je n'ai pu y reconnaître la trace de ces êtres. La coloration intense prise par la gelée gêne beaucoup les observations. Je dois faire une exception pour le *Zoogleïtes elaverensis*, qui a vécu dans les eaux de purin les plus concentrées. Cet être consiste en une masse de gelée dense, différente de la gélose des algues ordinaires, car au lieu de donner des corps jaune d'or comme celles-ci, elle a produit une matière qui se colorait en brun clair. Dans cette gelée sont de très petites cellules sphériques de 0.6 μ à 0.8 μ, dont le protoplasme est coloré en brun (1). L'aspect de l'être est celui d'une zooglée qui mesure 45 μ de long sur 15 μ d'épaisseur. La masse pouvait atteindre 86 μ. Dans le thalle, les centres des cellules sont distants de 0.8 μ à 1.6 μ. Les *Zoogleïtes* ne sont pas très nombreux. Il y en a pourtant dans toute la hauteur du banc. *Zoogleïtes* est caractéristique du banc des têtes-de-chats (2). Il disparaît dès qu'on approche d'une région où les coprolithes sont moins abondants.

Il y a de nombreux débris de végétaux fragmentaires à parois fortement altérées. Beaucoup sont à l'état de fusains. Les autres ont condensé fortement le bitume. On peut rencontrer de grandes plaques de charbon brillant craquelé qui ont cette origine dans le lit des têtes-de-chats.

Les plus importants des corps accidentels du schiste de l'Allier sont des coprolithes de reptiles ichtyophages. Les coprolithes sont entiers ou éparpillés. Les coprolithes ayant fortement condensé le bitume ont

(1) Si les protoplastes du *Zoogleïtes elaverensis* sont entourés chacun d'une membrane propre, celle-ci est colorée comme la masse protoplasmique et elle est confondue avec elle dans la description ci-dessus. Une telle membrane, jointe à la taille exiguë des cellules, tendrait à rapprocher les *Zoogleïtes* des bactéries. Je n'ai pas observé la formation des spores de *Zoogleïtes* : je ne puis dire si elles sont ou non endogènes.

(2) La présence de *Zoogleïtes* n'est pas incompatible avec la formation d'un charbon d'algues. Ainsi j'ai rencontré cet être dans de petits lits du *boghead* d'Autun où les Pilas étaient accompagnés de très nombreux coprolithes.

Digitized by Google

donné des nodules d'un charbon noir satiné, qui tranchent nettement sur le fond brun de la masse entourante. Ce sont là des masses de charbon d'origine animale. L'intervention des coprolithes dans le schiste est donnée par les nombres suivants. Le coefficient vertical varie entre 0.166 et 0.250. Le coefficient horizontal est 0.096. Le coefficient en volume est compris entre 0.056 et 0.075. La présence de plusieurs gros coprolithes en un point bouleverse ces coefficients. Il est aussi très difficile de tenir compte des coprolithes éparpillés. Les nombreuses écailles détachées des coprolithes, qu'on trouve isolées à travers toute la gelée, montrent que la matière stercoraire s'est répandue abondamment dans toute la masse, intimement mêlée par ses parties les plus fluides à la gelée fondamentale.

Les coprolithes entiers sont conservés dans leurs moindres détails, comme s'ils avaient été saisis par un liquide fixateur. On y voit les bols alimentaires agglutinés par le mucus intestinal. Dans un grand nombre de coprolithes, ce mucus contient un très beau bacille à éléments isolés et en chaînettes. La bactérie, colorée en brun par localisation élective du bitume, se détache très nettement sur le fond beaucoup plus clair du mucus. Protoplasme et parois sont colorés. On a les mêmes difficultés pour distinguer le protoplasme et la paroi de ce bacille fossile que dans nos bactéries actuelles, lorsqu'elles ont été colorées par le violet de gentiane. Dans les mêmes coprolithes, un grand nombre d'écailles convenablement colorées par le bitume montrent dans les fins canalicules qui prolongent les cellules osseuses des granulations sphériques alignées, colorées en brun. Ce sont les cellules d'un *Micrococcus* bien caractérisé que M. B. Renault a décrit sous le nom de *M. lepidophagus*. Dans ce second exemple, la bactérie se détache sur la matière osseuse entourante par sa plus forte coloration. Le protoplasme et la paroi y sont encore également colorés et ne peuvent se distinguer l'un de l'autre. Ces faits de surcoloration des bactéries fixées vivantes par localisation élective du bitume s'accordent avec la coloration brune que les protoplastes des cellules ordinaires prennent par diffusion en présence du bitume. Si donc les corps bactérioïdes de la gelée fondamentale sont des restes de bactéries, ils ont été fixés à un état tout différent de celui de bactéries des coprolithes.

Les parties osseuses des écailles, les fragments squelettiques sont à l'état de corps jaunes. Les masses protoplasmiques des cellules osseuses sont colorées par du bitume qu'elles ont condensé ou remplacées par cette matière lorsqu'elles ont été détruites.

Les plaques d'émail, souvent trouées, sont incolores.

Digitized by Google

Il y a d'assez nombreuses parcelles de mica uniformément réparties à travers toute la masse. C'est le seul élément clastique qu'on y puisse relever.

Le bitume se voit libre dans les grandes cavités des os. Il s'y montre contracté en un réticulum. C'est un bitume brun-noir, fortement coloré, différent de ceux des charbons précédemment étudiés. En dehors des cavités osseuses, le bitume n'est pas individualisé. Il a pénétré la masse par une diffusion générale. Il est accumulé spécialement dans les coprolithes et dans les débris végétaux convenablement humifiés. Il a teinté par action élective les protoplastes des cellules osseuses, le bacille des coprolithes, le *Micrococcus lepidophagus*, les cellules du *Zoogleïtes elaverensis* et la gelée fondamentale.

Toute la masse est très sulfurée et fortement imprégnée de pyrite.

Les autres bancs du schiste de Buxière et de Saint-Hilaire nous apprennent que le même phénomène s'est répété plusieurs fois avec une moindre intensité. *Zoogleïtes* fait défaut dans les autres bancs. Les lits de charbon de purin passent à des zones chargées d'Ostracodes. Dans ces zones, les coprolithes sont moins abondants, le pollen et les menus débris sont plus dilués, la charge en matières minérales est fort augmentée. La gelée fondamentale, très largement déchirée, est réduite à un fin réticulum. Il y a enfin de nombreuses coquilles d'Ostracodes dont les valves sont couplées et écrasées. Les lames de charbon brillant craquelé des *grès gris noirâtres* sont des lambeaux végétaux plus volumineux, humifiés, qui ont fortement condensé le bitume. Ils sont mêlés à des fusains.

Il y a donc des charbons de purins.

De même que les charbons humiques, les charbons de purins ne sont qu'un incident au cours de la formation d'un schiste organique, et l'incident a été sujet à répétition.

Des charbons humiques aux charbons de purins, nous ne relevons comme variation dans les conditions géogéniques qu'une charge plus forte de l'eau génératrice en matières stercoraires. L'eau brune est devenue une eau de purin. La gelée fondamentale ainsi modifiée retient une plus grande quantité de bitume. Il en résulte un type de charbon dont les caractéristiques diffèrent très nettement de celles des charbons humiques.

La production des diverses variétés de charbon, fusain, charbon

Digitized by Google

brillant craquelé, etc., reste régulière et normale dans ce milieu.

Il y a eu un fort enrichissement de la matière organique de ces charbons en carbures d'hydrogène. En particulier, les coprolithes, les os et les écailles, en condensant fortement le bitume, nous donnent des nodules ou des lames de divers charbons animaux.

Les schistes de l'Allier reproduisent les schistes bitumineux à coprolithes qui précèdent et qui suivent le *boghead* d'Autun. Ce dernier fait doit vous montrer la forte liaison qu'il y a entre toutes les parties de ces études sur les charbons.

Comme conclusions finales, je dirai, en essayant de résumer sous forme d'aphorismes les progrès que cette conférence a eu pour but de vous faire connaître :

1. — Les *bogheads* ou charbons d'algues sont devenus des charbons caractérisés par la prédominance d'un corps accidentel, la *gélose,* qui a agi en localisant des hydrocarbures éclairants.

2. — La contraction de la gélose relevée dans les charbons d'algues ne suffit pas à rendre compte des hydrocarbures qu'on y trouve solidifiés. Il y a eu enrichissement de la substance végétale en matières hydrocarbonées par des infiltrations bitumineuses.

3. — Dans les *bogheads*, la matière vegétale gélosique se montre comme une condition surajoutée et toute fortuite. Cette condition différencie les charbons d'algues des autres charbons à corps accidentels dominants, mais elle ne nous fait pas connaître l'ensemble des conditions nécessaires à la formation d'un charbon.

4. — Les charbons humiques nous font connaître quelques qualités de la gelée fondamentale et son mode d'intervention dans la formation des charbons. Ils nous donnent une première idée des conditions nécessaires à la formation des charbons.

5. — La formation des charbons humiques exige des eaux brunes tranquilles, laissant précipiter leurs matières humiques. Ce dépôt de gelée humique doit être complété par une imprégnation bitumineuse qui vient enrichir la gelée brune en principes hydrocarbonés. A la gélose près, ce sont les conditions de formation trouvées pour les *bogheads*.

6. — Des matières stercoraires ajoutées à la gelée fondamentale

Digitized by Google

suffisent à modifier sa capacité de rétention du bitume et à donner un autre type de charbon : les charbons de purins.

7. — La production des diverses variétés de charbons qu'on voit associées dans les houilles, est régulière et normale dans ce milieu.

8. — Les charbons humiques peuvent se présenter avec le faciès macroscopique de charbon. Il suffit qu'il se forment dans des conditions telles que leur charge en matières minérales reste faible. La gelée humique avait une très forte tendance à localiser les matières minérales ; aussi les charbons humiques ont-ils très généralement l'aspect de schistes bitumineux.

9. — Les charbons humiques correspondent à peu près aux schistes bitumineux de l'industrie, comme ses *bogheads* correspondent à peu près aux charbons d'algues.

10. — En nous donnant la notion de charbons amorphes, les charbons humiques modifient profondément notre compréhension des roches charbonneuses.

Digitized by Google

ÉTUDES

SUR LA

GÉOLOGIE DU CONGO OCCIDENTAL

ENTRE

LA COTE ET LE CONFLUENT DU RUKI

PAR

J. CORNET

Professeur à l'École des Mines de Mons.

Planches VIII et IX

INTRODUCTION

Le présent mémoire est le développement de la note que j'ai présentée à la Société dans la séance du 22 décembre 1896 (1). Il a surtout pour but de rendre compte des observations que j'ai pu réunir sur la géologie du Congo occidental pendant les mois de septembre et octobre 1895. J'y joindrai quelques observations faites dans la même région lors de mon voyage vers le Katanga en juillet 1891 et de ma descente vers la côte en mars 1893. Mais ces dernières observations ont été effectuées dans des conditions telles qu'elles n'ont pu être que

(1) *Observations sur la géologie du Congo occidental*, t. X, 1896 (Procès-verbal de la séance du 22 décembre 1896).

Digitized by Google

peu nombreuses et très superficielles. Je ne les ferai intervenir qu'à titre de compléments, quand elles se rapportent à des itinéraires que je n'ai pas parcourus lors de mon second voyage.

Mes études de 1895 ont été faites pendant la mission dont j'avais été chargé au Congo par le Gouvernement belge et précisément en exécution de cette mission. J'étais chargé d'apprécier la nature des terrains dans lesquels devaient s'exécuter les déblais de la section du chemin de fer de Matadi au Stanley-Pool qui restait à terminer à cette époque.

Le rapport que j'ai eu à soumettre au Gouvernement concernait donc spécialement les dépôts meubles de la surface du sol. C'est la cause pour laquelle j'ai pu présenter à la Société, dès le mois de février 1896, mon travail sur *Les dépôts superficiels et l'érosion continentale dans le bassin du Congo*, exposant des faits dont une grande partie se rattachaient directement au but de ma mission (1).

Mais l'on comprendra aisément qu'au point de vue purement géologique, au point de vue de mes études personnelles, c'étaient surtout les formations en place, cachées presque partout par le manteau terreux superficiel, qui avaient attiré mon attention.

La présence des coupes fraîches offertes par les tranchées du chemin de fer a considérablement facilité mes recherches, et si je suis arrivé à quelques résultats nouveaux sur les terrains archéens et primaires du Bas-Congo, c'est en grande partie aux travaux du chemin de fer que j'en suis redevable.

Deux géologues m'ont précédé dans le Congo occidental : Pechuel-Loesche, en 1882, et E. Dupont, en 1887-1888.

Antérieurement aux études de Pechuel-Loesche, nos connaissances sur cette région se bornaient à un petit nombre de données (2) sur la présence de certaines roches en quelques endroits : du granite à la Roche-Fétiche, du calcaire dans la région des Cataractes, etc. On possédait, en outre, les généralisations de Lenz et de Gürich, qui, reposant sur des bases insuffisantes, étaient forcément très erronées : la géologie d'un pays peu connu paraît toujours simple.

(1) T. X, 1896, pp. 44-116 (Mémoires).

(2) Parmi ces données, beaucoup étaient absolument inexactes, notamment toutes celles qui figurent dans les récits de STANLEY. Le grand explorateur cite des trapps, des laves et d'autres roches volcaniques dans la région des cataractes, ce qui, pour lui, est parfaitement logique, le Pool étant *le cratère d'un ancien volcan !*

Digitized by Google

C'est, en réalité, Pechuel-Loesche qui a fondé la géologie du Congo; il serait injuste de l'oublier. Quelles que soient les opinions sur des points de vue extra-scientifiques qu'il a émises sur le bassin du Congo, on peut dire que tant qu'il reste sur le terrain de la pure science et ne parle que de ses propres observations, ce qu'il a publié sur la géologie et la géographie physique du Congo possède une très haute valeur (1).

Pechuel-Loesche, le premier, constata qu'en remontant le Congo, de la mer au Stanley-Pool, on rencontre successivement :

1° Une zone côtière occupée par des terrains secondaires, tertiaires et récents, remplissant un espace triangulaire dont un angle est déterminé par les rochers granitiques de Yumba (Cap Matuti), le second par le granite de Kinsembo, près d'Ambrizette, et le troisième se trouvant un peu en aval de Boma.

2° Une zone cristalline s'étendant le long du fleuve, de la Roche-Fétiche et de la colline de Bembandek jusque Issanghila, et composée surtout de gneiss granitoïdes, de micaschistes, de gneiss à hornblende et de quartzites micacés schistoïdes accompagnés de roches éruptives (granites de Yumba, Muserra, Kinsembo et Roche-Fétiche; diabase d'Issanghila).

3° Une zone de schistes calcarifères, de calcaires argileux et de calcaires marbres avec grauwacke (dans le sens allemand du mot, désignant un cas particulier de *poudingue*), comprise entre Issanghila et la rivière Luochi.

4° Une région occupée par des couches de grès plus ou moins argileux, rouge clair ou rouge foncé, souvent chargés de grains de feldspath altéré et quelquefois de cailloux roulés. Ces grès sont visibles jusqu'au Stanley-Pool.

Pechuel-Loesche constata en outre que les couches des formations cristalline et schisto-calcareuse, c'est-à-dire les couches que l'on recoupe

(1) *Zur Geologie des westlichen Kongo-Gebiet.* (DEUTSCHE RUNDSCHAU FÜR GEOGRAPHIE UND STATISTIK, April 1886.)

Kongoland. Jena, 1887.

Voir aussi : *Loango und die Loangoküste.* (MITTHEIL. DES VEREINS FÜR ERDKUNDE ZU LEIPZIG, 1876.)

Das Kuilu Gebiet. (PETERM. MITTHEIL., 1877, Heft 1.)

Les roches récoltées par PECHUEL-LOESCHE ont été étudiées par le Dr R. KÜCH (in *Tchermaks' mineralog. u. petrogr. Mittheil.*, 1884).

Digitized by Google

entre Boma et la rivière Luochi, ont été plus ou moins fortement plissées, tandis que les assises des grès rouges sont à peu près horizontales. Ajoutons qu'il avait fait sur les rives du Kuilu-Niadi des observations parallèles à celles du Congo.

On a, jusqu'ici, ajouté beaucoup de faits nouveaux aux observations de Pechuel-Loesche et on en a rectifié plusieurs, mais on doit convenir qu'il avait, dès 1886, clairement et nettement tracé les grandes lignes de la géologie de cette partie du bassin (1).

M. Éd. Dupont, à la suite de son voyage de 1887-1888, publia un grand nombre d'observations nouvelles (2). Les principaux résultats furent : 1° d'établir l'existence, entre la série cristalline archéenne et le système schisto-calcareux de Pechuel-Loesche, d'un groupe de couches, essentiellement formé de quartzites et de schistes métamorphiques, que le Congo recoupe aux environs d'Issanghila; 2° de distinguer, dans la formation des grès horizontaux du centre du bassin, la présence de deux systèmes superposés : le système des grès rouges feldspathiques et celui des grès blancs friables.

Ce que mes observations ont apporté d'éléments nouveaux à la géologie du Congo occidental, on le verra par les pages suivantes.

Dans la première partie de ce travail, je donnerai le compte rendu de mes recherches, en me bornant à l'exposé des faits observés. Dans la seconde, je tâcherai de coordonner ces observations et celles de mes prédécesseurs, et d'en tirer des conclusions sur la constitution du sol dans la région du Congo occidental qui avoisine la partie inférieure du grand fleuve.

(1) J. Chavanne (*Reisen und Forschungen in alten und neuen Kongostaate*, Jena, 1887) reproduisit presque textuellement les conclusions de Pechuel-Loesche et ne fit que peu d'observations originales. Nous devons, pour être complet, citer la publication de M. Zboïnski : *Esquisse géologique du Bas-Congo, etc.* (Bulletin de la Société belge de Géologie, t. I, p. 36, Mémoires, et Revue universelle des Mines, t. VI, 1887.)

On ne trouve que peu d'observations géologiques dans l'ouvrage d'Oscar Baumann : *Beiträge zur physischen Geographie des Kongo* (Mittheil. Geograph. Gesellschaft, Wien, 1887). Les roches rapportées par cet éminent géographe ont été étudiées par Schüster : *Petrograph. Untersuch. einiger der von O. Baumann am Kongo gesammelten Gesteine.* (Ibidem, 1887.)

(2) *Lettres sur le Congo*, 1889. — Voir aussi : *Bulletin de la Société belge de Géologie*, t. II, 1888, p. 43, et t. III, 1889, p. 398.

Digitized by Google

PREMIÈRE PARTIE

La région qui fait l'objet du présent travail peut, au point de vue géologique, se diviser en quatre zones qui sont, en allant de la côte vers l'intérieur ou de l'ouest à l'est :

I. *La zone maritime* (dépôts secondaires, tertiaires et plus récents);

II. *La zone cristalline* (Archéen; Primaire métamorphique);

III. *La zone schisto-calcareuse* (Primaire non métamorphique : Dévonien?);

IV. *La zone des grès* (Postprimaires; probablement secondaires).

I. — Zone maritime.

Je n'ai pas eu l'occasion de séjourner dans la région côtière et les quelques observations que j'ai pu y faire ne m'ont apporté aucun fait nouveau. Je ne ferai que rappeler brièvement les données acquises sur la constitution de cette zone, en me bornant au voisinage immédiat du Congo, car au nord et au sud de l'embouchure du fleuve, les documents deviennent plus nombreux. Nous rangeons dans la zone maritime les territoires, peu élevés et peu accidentés, voisins de la côte et occupés par des *dépôts d'estuaire anciens*, des lambeaux de *dépôts tertiaires et crétacés* et des *grès précrétacés* reposant directement sur les terrains anciens.

1° Les *grès précrétacés* ont été signalés par J. Chavanne (1) près de Mbinda (?) et près de la source du Kalamu. Ce sont des grès gris-jaune, à grain grossier, micacés, en couches tout à fait horizontales, d'environ 10 mètres d'épaisseur.

(1) J. Chavanne, *Reisen und Forschungen im alten und neuen Kongostaaten in den Jahren 1884 und 1885*. Jena, 1887.

Digitized by Google

M. Dupont (1) a entrevu des roches analogues à Senjambi, au nord-ouest de Boma. Des renseignements peu circonstanciés que j'ai reçus indiquent un développement assez considérable de grès jaunes, semblables à ceux que signale Chavanne, dans la région du Mayombe, sur le territoire de l'État du Congo.

Dans le Mayombe français, sur la route de Loango à Ludima et Brazzaville, on rencontre, entre les formations littorales et les terrains cristallins, à environ 40 kilomètres de la côte, des grès blancs et rouges, assez durs, que l'on doit probablement rapporter à ce système (2).

2° *Dépôts crétacés*. Ces formations, que l'on devrait, d'après ce que l'on connaît au nord et au sud, s'attendre à rencontrer dans le voisinage de l'estuaire du Congo, n'y ont été signalées que d'une façon très vague. On peut y rapporter peut-être les calcaires blancs pétris de coquilles d'huîtres qui, d'après Pechuel-Loesche, constituent les falaises d'Ambrizette.

3° *Dépôts tertiaires*. Nos connaissances sur les formations tertiaires de la région maritime sont plus fournies que sur le Crétacé, mais elles manquent encore de netteté. La falaise de Loango, d'après Pechuel-Loesche, est formée d'une roche sans cohésion, à grains d'un brun foncé, riche en ocre ferrugineuse, non effervescente, renfermant des coquilles de *Leda*, *Mactra*, *Tellina* et *Cardium*. Ce dépôt s'étend assez loin dans l'intérieur du pays. A Landana, le même géologue a récolté des restes de Poissons, une dent de Crocodile, un coprolithe et un Nautile (3). M. Dupont (4) signale dans l'intérieur du pays, au nord de Matéba, des calcaires argileux fossilifères qu'il rapporte au Miocène, sans faire connaître, toutefois, les raisons sur lesquelles il se base. M. Zboïnski a aussi signalé des calcaires tertiaires à Landana (5).

4° Pour ce qui concerne les *dépôts de l'ancien estuaire* du Congo et

(1) Éd. Dupont, *Lettres sur le Congo*. Paris, 1889.

(2) Cholet et Thollon, in Barrat, *Sur la géologie du Congo français* (Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, 29 octobre 1884) et *Sur la géologie du Congo français* (Annales des Mines, avril 1895).

(3) J'ai vu à Boma, entre les mains d'un fonctionnaire de l'État du Congo, des fossiles tertiaires provenant de Landana (embouchure du Tchiloango), entre autres un grand Nautile, à siphon remarquablement asymétrique. Ces fossiles sont actuellement en Europe, mais n'ont pas été décrits jusqu'ici.

(4) Éd. Dupont, *loc. cit.*

(5) Zboïnski, *Esquisse géologique du Bas-Congo*. (Bulletin de la Société belge de Géologie, t. I, 1887, Mémoires, p. 36 et pl. I.)

Digitized by Google

en général les formations quaternaires ou récentes de la région côtière, je ne puis que renvoyer au travail où j'ai traité spécialement ces sujets (1).

II. — Zone cristalline.

Cette zone, caractérisée par la nature pétrographique des roches qui la constituent, forme un ensemble assez complexe. La partie occidentale est nettement cristalline et incontestablement d'âge archéen. C'est là l'opinion à laquelle je me suis arrêté, bien que, entraîné par certaines idées, que je crois aujourd'hui inexactes, j'aie d'abord considéré les schistes cristallins du Bas-Congo comme métamorphiques et non primitifs (2). Sans revenir ici sur la nature des terrains primitifs, je puis avancer que ces schistes cristallins (en donnant à ce mot un sens très large) sont aussi franchement archéens que les types classiques de l'Archéen en Europe et en Amérique.

Dans la partie orientale du système, vers la Bembizi, sur le passage du chemin de fer, le caractère cristallin des roches devient moins prononcé et il y aura peut-être lieu de rapprocher du Précambrien ou du Cambrien les assises qui terminent le système de ce côté.

En général, les roches de la zone cristalline se présentent, même dans les excavations artificielles, dans un état profondément altéré; il en est même souvent ainsi pour celles que, dans ce qui suit, j'appellerai *intactes* : ce sont les parties les moins décomposées, mises à nu par les travaux du chemin de fer ou l'activité torrentielle.

On comprend que, dans ces circonstances, la détermination exacte des types pétrographiques soit souvent difficile et quelquefois impossible. C'est notamment le cas quand la détermination d'une roche dépend de celle de la nature du feldspath qui la caractérise ou du minéral amphibolique qui y prédomine. L'étude pétrographique proprement dite de mes échantillons reste d'ailleurs à faire. C'est pourquoi, dans beaucoup de cas, je ne pourrai désigner les roches que par des expressions assez larges, présupposant le manque d'une détermination exacte : roche granitique, roche gneissique, roche amphibolique, etc.

(1) J. Cornet, *Les dépôts superficiels et l'érosion continentale dans le bassin du Congo.* (Bulletin de la Société belge de Géologie, t. X, 1896, Mémoires, p. 44.)

(2) J. Cornet, *Rapport adressé au Gouvernement belge sur les conditions géologiques des territoires traversés par le chemin de fer du Congo.* (Documents de la Chambre des Représentants, 1896.)

Digitized by Google

A. — De la côte a Matadi.

Le substratum de la zone maritime, recouvert par un manteau peu épais formé par les dépôts que j'ai énumérés plus haut, est probablement entièrement archéen. Les terrains cristallins s'annoncent dès la côte, au nord et au sud du Congo, par les pointements granitiques du Cap Matuti et de Muserra (1). Au Cap Matuti, près de la baie de Mayomba, la roche est un granite rose à grain fin.

Près de Muserra, au nord de Kinsembo, c'est un granite à gros grain, avec cristaux de feldspath très volumineux, formant d'énormes rochers à proximité de la plage.

Les rives du Congo, depuis l'embouchure jusqu'en amont de l'île de Matéba, et les îles basses qui obstruent une partie du fleuve, sont exclusivement constituées par d'ancients dépôts d'estuaire ou des alluvions modernes. Dans la partie orientale de l'île de Matéba, on aperçoit une colline double, surbaissée, à profils arrondis, à laquelle sa forme caractéristique a valu le nom pittoresque de *Cul-de-Boma*. Elle est, d'après M. Dupont, formée par un granite porphyroïde.

A 2 ou 3 kilomètres plus haut, et sur la rive gauche du fleuve, se dresse un rocher bien connu de tous les voyageurs et dont il est déjà parlé dans le récit de l'expédition Tuckey : c'est la *Roche-Fétiche*. M. Dupont, qui l'a visitée, y a vu du granite porphyroïde. D'autre part, un échantillon que l'on m'a dit venir de ce point m'a montré un granite à feldspath rose et muscovite, à très gros éléments, rempli de cristaux de tourmaline, c'est-à-dire une sorte de pegmatite (2).

Il y a encore plusieurs pointements rocheux sur la rive en amont de la Roche-Fétiche et du côté aval de l'île allongée qui fait face à Boma. Ils se présentent comme des affleurements granitiques. Vers l'amont de l'île de Sacra-Ambaca existe une colline basse où M. Dupont a observé un gneiss très quartzeux.

En face de la Roche-Fétiche et un peu en amont se dresse, sur la rive droite, le *Monolithe*, sorte de pilier formé, d'après M. Dupont, d'un granite à grain fin, à mica noir (3). Non loin de là, les travaux du fort

(1) Pechuel-Loesche, *Kongoland*.

(2) Pour Pechuel-Loesche, la Roche-Fétiche est constituée par un *gneiss granitoïde*. Il est probable qu'il y a là plusieurs variétés de roches granitiques.

(3) Le granite du Monolithe étant à grain plus fin que celui de la Roche-Fétiche, M. Dupont considère ce dernier « comme une masse appendiculaire à un grand amas granitique de la rive nord ». Cette différence de structure ferait plutôt supposer l'inverse.

Digitized by Google

de Chinkakassa ont entamé diverses roches granitoïdes. Ces roches sont, du reste, exploitées; on en fait notamment des bornes utilisées à Boma et à Matadi. La roche dominante est un granite gneissique, à feldspath rose et mica noir (1). Diverses roches granitiques s'observent, avec du gneiss et du micaschiste, dans la région qui s'étend au nord de Chinkakassa.

De même que pour la zone maritime, je n'ai pu faire, dans la partie de la zone cristalline située en aval de Matadi, que des observations rares et rapides. Je me bornerai à résumer ici en peu de mots les observations de mes devanciers, spécialement de M. Dupont.

L'emplacement de Boma est situé sur du gneiss fortement micacé. Le même gneiss s'observe, avec des roches granitiques, vers l'intérieur du pays, dans la région qui entoure la capitale de l'État.

Le gneiss de Boma, vers l'amont, renferme une étroite bande de granite à muscovite, visible sur la rive près de l'ancienne mission du Saint-Esprit et se prolongeant vers le nord, où elle est coupée par la rivière Kalamu. Au delà de ce granite, on trouve, près de la mission, du gneiss grenatifère.

En amont, une zone de granite à feldspath rose traverse obliquement le Congo, formant la partie d'aval de l'Ile des Princes et les rives du Congo, et se prolongeant en chaîne vers le nord. La partie orientale de l'Ile des Princes est formée de gneiss rose; puis le gneiss devient tourmalinifère; une étroite bande granitique y fait suite, à hauteur de la plaine de Chilemba. Du micaschiste, d'abord rempli de gros cristaux de tourmaline et de grenat, apparaît ensuite et règne jusqu'au grand coude que le fleuve décrit vers le sud. De ce point jusque près de la Roche-Diamant, on traverse une zone granitique d'environ 10 kilomètres de large, puis reparaît le micaschiste jusqu'au Chaudron-du-Diable. Ce grand cirque présente, au promontoire qui le limite en aval, du côté de la rive droite, des bancs épais d'un quartzite gris verdâtre foncé, magnétitifère et tourmalinifère. Au pied du grand escarpement, on voit un beau micaschiste gris, tourmalinifère, et des chloritoschistes, tous deux en couches fortement contournées.

(1) Des échantillons bruts de cette roche et des objets taillés et polis ont figuré à l'Exposition coloniale de Tervueren en 1897; ils montraient une structure nettement gneissique.

Digitized by Google

B. — Matadi et ses environs (1).

L'agglomération de Matadi est bâtie sur des couches, très régulièrement inclinées de 15 à 20° vers l'ouest 20° nord, d'un quartzite micacé aimantifère, gris souris quand il est bien intact, ordinairement décoloré et taché de jaune, de roux ou de rougeâtre vers la surface du sol, stratifié en bancs épais, devenant schisteux par altération.

Cette roche affleure directement à Matadi même et dans les environs, ou est recouverte d'une terre superficielle en couche peu épaisse, très peu fertile. Elle peut s'observer à l'état frais à la gare de Matadi, où l'on a entaillé, pour l'établissement des voies et des hangars, la base de la pente qui fait face au fleuve, et spécialement dans une sorte de carrière creusée, non loin des magasins à marchandises, derrière le bureau du chef de station.

Dans la roche de cette carrière, les grains de magnétite sont disposés en zones noires, souvent très rapprochées; certaines parties sont oligistifères par place.

Dans des échantillons récoltés sous l'hôtel, près des bureaux du chemin de fer, etc., la magnétite se présente en octaèdres disséminés, atteignant 1 et 2 millimètres.

La même roche constitue la hauteur qui s'étend au sud de Fuka-Fuka. La colline qui sépare le ravin de Fuka-Fuka de celui de Kala-Kala a sa base formée par cette roche, très compacte, très aimantifère, un peu verdâtre. Au-dessus vient, sans transition, une forte épaisseur d'un gneiss syénitique grenu, de texture pseudo-granitoïde, en bancs compactes, non feuilletés, surmontés de schistes amphiboliques à grain fin, assez feuilletés. Vers le sommet de la colline réapparaît le gneiss syénitique à texture grenue. Ces roches présentent la même direction que les quartzites micacés aimantifères qu'elles surmontent et une inclinaison sensiblement voisine.

Sur la rive gauche du fleuve, jusque Underhill, on rencontre des affleurements des mêmes roches vertes amphiboliques.

L'escarpement du Kionzo, qui borde le Congo en face de Matadi, est constitué par des roches amphiboliques présentant les deux mêmes types qu'à la colline de Fuka-Fuka.

Le long de l'ancienne route des caravanes, entre Matadi et le point

(1) Ici commencent, à proprement parler, mes observations suivies dans le Bas-Congo.

Digitized by Google

où était le bac de la Mpozo, on observe (notamment dans le lit du ruisseau du Ravin Léopold et sur le flanc de la vallée de la Mpozo) les quartzites micacés de Matadi, avec, à peu près à mi-chemin, des affleurements de roches vertes amphiboliques.

Les quartzites micacés se montrent aussi partout entre Matadi et l'hôpital de Kinkanda. Non loin de Kinkanda, j'ai trouvé sur le sol des blocs d'une roche porphyrique, rouge foncé, dont je n'ai pu observer le gisement.

C. — Observations faites le long du chemin de fer entre Matadi et la limite orientale de la zone cristalline.

L'étude des tranchées du chemin de fer, à laquelle je me suis livré pendant le mois d'octobre 1895, a pris un certain nombre de journées et, selon les circonstances du moment ou du lieu (heures des trains, situation du logement, etc.), mon exploration s'est faite tantôt en montant (c'est-à-dire en marchant de Matadi vers le Pool), tantôt en descendant (du Pool à Matadi).

Désireux de conserver au compte rendu de mes recherches son caractère original, je n'ai pas cru devoir *retourner* sens dessus dessous l'exposé des constatations faites pendant certaines journées de façon à donner mes observations en une seule série continue. Je pense que cette méthode n'offre que de petits inconvénients et présente, au contraire, des avantages au point de vue de la fidélité de l'exposé et de l'exactitude des faits observés, car ce qui suit est à peu près la reproduction intégrale de mes notes d'excursion.

Je diviserai l'exposé de mes observations le long de la voie ferrée en quatre sections correspondant aux itinéraires suivants :

1° *De Matadi au pont de la Mpozo* (en montant);

2° *De la station de Kengé au pont de la Mpozo* (en descendant);

3° *De la station de Kengé à celle de Kamansoki* (en montant);

4° *Du Col des Palmiers à la station de Kamansoki* (en descendant).

1° *De Matadi au pont de la Mpozo.*

Jusque près de la station des Eaux-Bonnes, un peu en aval du confluent de la Mpozo, les tranchées sont creusées dans les quartzites micacés aimantifères de Matadi. Ils sont généralement très altérés,

Digitized by Google

plus ou moins micacés et schistoïdes, et passant souvent à un micaschiste très quartzeux.

En face d'une factorerie portugaise, un peu au delà d'un pont de 10 mètres, les couches sont traversées d'épaisses veines de quartz perpendiculaires à la stratification et formant un angle de 45° avec la direction.

Près de la factorerie de la Société belge du Haut-Congo, avant le Ravin Léopold, une tranchée montre la roche à l'état à peu près intact vers le bas de la coupe.

Au kilomètre 2, à l'endroit où la voie se rapproche du fleuve, au débouché du Ravin Léopold, le quartzite micacé est assez feuilleté et du schiste amphibolique micacé, fortement feuilleté, s'y intercale sans transition en deux couches, l'une de 2 mètres, l'autre de $0^m,20$ et distantes de 6 mètres.

Au delà, le quartzite micacé est plus massif et renferme de nombreuses veines de quartz. Puis il redevient plus feuilleté, tout en présentant encore beaucoup de bancs très massifs. Les lits des parties feuilletées offrent des ondulations ressemblant, sur le plat des couches, à des *ripple-marks*, mais qui, en coupe, se présentent comme des apparences dues au laminage de la roche.

A l'endroit dit « les Échelles », vers la fin du troisième kilomètre, la voie a été taillée sur le flanc de l'escarpement raide qui borde directement le fleuve. On y voit une belle coupe dans le quartzite micacé en bancs épais, séparés par des zones feuilletées. La roche est extrêmement aimantifère par places; la magnétite s'y présente en beaux octaèdres disséminés de 1, 2 et 3 millimètres, et en grains serrés, disposés par zones parallèles à la stratification. On trouve, dans cette coupe, un lit de $0^m,20$ à $0^m,30$ de schiste amphibolique micacé, très feuilleté, intercalé dans les bancs du quartzite aimantifère.

Au delà, à un tournant de la voie, on voit brusquement apparaître sur le quartzite une zone de 50 mètres environ d'épaisseur, d'un gneiss syénitique grenu, non feuilleté, fortement altéré, en stratification peu distincte, rempli de quartz en veines, lentilles, etc. Puis reparaissent 20 mètres de quartzites micacés comprenant des bancs compactes alternant avec des couches très feuilletées.

A la station des Eaux-Bonnes reparaît le gneiss syénitique, décomposé et mal stratifié, en une large zone qui règne jusqu'au confluent de la Mpozo, avec quelques intercalations de schistes amphiboliques en couches plus nettes et plus cohérentes. Ces roches vertes forment à droite de la voie un escarpement raide, très élevé.

Digitized by Google

Dans la partie inférieure du ravin de la Mpozo, on voit plusieurs alternances de ces roches amphiboliques vertes et des quartzites micacés; puis ceux-ci règnent exclusivement; ils offrent des zones où la roche est, sur une grande épaisseur, d'une massivité remarquable, très compacte, d'un gris légèrement verdâtre. D'autres zones, surtout en approchant du pont de la Mpozo, sont très feuilletées, même à l'état frais, et de teinte verdâtre.

A l'endroit où le chemin de fer la franchit sur un pont en fer de 60 mètres, la Mpozo coule sur des quartzites micacés subschistoïdes, analogues à ceux que nous allons retrouver en plusieurs points entre le pont de 60 mètres et la station de Palabala (Ravin de la Chute, etc.).

2° *De la station de Kengé au pont de la Mpozo.*

En quittant la station de Kengé, on n'observe d'abord, outre les dépôts superficiels, que quelques affleurements de roches gneissiques entièrement décomposées. On arrive bientôt dans la vallée de la Kiméza (affluent de la Mpozo). A 1,500 mètres environ de Kengé, on voit, à gauche de la voie, un affleurement isolé d'une roche blanche, grossièrement grenue, sans apparence de stratification. Elle est presque exclusivement formée de feldspath un peu altéré, avec quelques grains de quartz.

Dans le lit de la Kiméza, près du pont de 60 mètres jeté sur la rivière, se présentent de beaux affleurements d'un gneiss gris, bien conservé, offrant des parties à grain fin et à stratification nette, et des parties à gros grain, granitoïdes, massives.

Les mêmes gneiss reparaissent à quelques centaines de mètres au delà du pont, puis on en revoit encore, à l'état très altéré, dans une tranchée où ils alternent avec des couches d'un beau schiste à séricite à grandes lames.

Avant le pont de 70 mètres, on retrouve le gneiss précédent, très altéré, dans lequel est intercalée une zone peu épaisse de la roche granitoïde signalée plus loin entre Palabala et la Mpozo, et que je compare à un gneiss grenu, à mica rare, ou à une leptynite à gros grain. Elle renferme du grenat altéré, ce qui semble confirmer cette dernière assimilation.

Un peu au delà, la même roche se représente avec un grain beaucoup plus fin, grenatifère et épidotifère, présentant des concentrations de matière amphibolique en veinules et en noyaux. Tout près affleure

Digitized by Google

du gneiss syénitique feuilleté. Les rapports de ces divers affleurements sont très confus. Puis on retrouve, un peu avant le pont de 70 mètres, du gneiss altéré.

Passé ce pont (sur la Kibuéza), on revoit de nouveau plusieurs fois les gneiss jusqu'au Col de Tombagadio.

A un kilomètre de la station de Tombagadio, on voit, à gauche de la voie un important affleurement de gneiss gris et, un peu au delà, on arrive à un affleurement d'un gneiss analogue, à feldspath rose et mica noir, très aimantifère et fortement chargé de pyrite en cristaux et en petits amas. La roche est à peu près intacte.

Au delà du Col de Kutadi, une roche schisteuse très altérée, rappelant une sorte de micaschiste, se montre dans une tranchée. Plus loin, on arrive à des roches schisteuses très feuilletées, vigoureusement froncées, décomposées en un produit rouge bigarré de jaune. Certaines parties, moins altérées, montrent de l'analogie avec les chloritoschistes du Ravin du Diable. (Voir plus loin.)

Au Col de l'Horizon, une belle tranchée montre des gneiss gris-blanc ou blanchâtres, alternant, en couches peu épaisses, avec des gneiss syénitiques ou des schistes amphiboliques fortement altérés.

La tranchée suivante montre une sorte de micaschiste blanc altéré et celle qui vient après présente la répétition de ce qu'on voit au Col de l'Horizon. Les mêmes gneiss clairs et roches amphiboliques vert foncé, en couches alternantes, de quelques décimètres à 1 et 2 mètres d'épaisseur, continuent à se montrer jusqu'à la prise d'eau de la Mia.

Près du barrage qui fournit l'eau d'alimentation pour les locomotives, on trouve, sur le bord de la rivière et de l'autre côté de la voie, du gneiss gris bien feuilleté, du gneiss granitique à gros grain et du granite à gros grain ou à grain fin, chargé de gros cristaux d'amphibole. Les rapports de ces différentes roches sont peu distincts.

Du barrage de la Mia à la station de Palabala, une succession de tranchées montre d'abord des alternances de gneiss gris clair et de roches amphiboliques vert foncé, puis les roches amphiboliques se présentent exclusivement dans les coupes.

Avant la station de Palabala, on voit encore reparaître les alternances de couches claires et foncées, puis celles-ci dominent de nouveau jusqu'à la station.

Le gneiss clair présente souvent une texture nettement grenue et peu feuilletée.

Digitized by Google

Kilomètre 17 (1). — Près de la station même affleure une roche schisteuse très feuilletée et très micacée, fortement décomposée, gris verdâtre clair, en couches inclinées à 20° environ vers le nord 20° ouest. On y voit intercalées des zones d'une roche, également très décomposée, d'aspect granitoïde, signalée déjà plus haut et que nous allons retrouver plus loin en meilleur état.

Un peu plus loin, on voit un gneiss syénitique en bancs peu feuilletés et, à quelques pas au delà, se présente un quartzite fortement micacé, assez feuilleté, gris verdâtre, ressemblant assez à la roche du pont de la Mpozo. Dans la tranchée qui vient après, on retrouve cette même roche en couches inclinées à 45° vers ouest 20° nord. Elle se présente ensuite décomposée sur place en un sable jaunâtre, traversé de filonnets de quartz restés *in situ*. La roche présente des régions plus ou moins feuilletées, plus ou moins micacées.

Kilomètre 16. — Un peu avant le Col de Palabala, une tranchée montre la roche précédente en bancs bien stratifiés, mais très altérés; certaines parties sont jaunâtres, d'autres rougeâtres, mais la plus grande masse est blanche; le quartz est à très gros grains. Les bancs sont traversés de veines de quartz ramifiées; ils sont inclinés à environ 45° dans un sens mal défini.

Dans la tranchée du Col de Palabala, on retrouve la même roche également très altérée.

Dans la tranchée qui précède le Ravin de la Cuve, on voit une roche schisteuse très altérée, rougeâtre, grasse au toucher. On la retrouve dans la tranchée qui suit le ravin, plus altérée encore.

A partir de ce point, la voie commence à côtoyer le Ravin du Diable.

Passé un pont métallique de 20 mètres, on voit apparaître dans une tranchée une roche blanche en bancs schistoïdes, formée de quartz grenu, accompagné de muscovite en membranes; c'est un quartzite micacé schistoïde grenu, très altéré.

Dans la tranchée qui suit, on voit réapparaître les schistes altérés rougeâtres, finement feuilletés, des environs du Ravin de la Cuve; il semble que ce soit le prolongement de la même zone.

On revoit les mêmes roches dans une tranchée qui suit un pont métallique de 5 mètres; elles sont décomposées en une terre jaune-brun, renfermant la continuation très nette d'un épais filon de quartz.

(1) La station de Palabala est à 16,600 mètres du point de départ de la ligne, c'est-à-dire sur le dix-septième kilomètre. De ce point jusqu'au pont de la Mpozo, mes observations étant très nombreuses, je les classerai par kilomètre.

Digitized by Google

Kilomètre 15. — Passé un pont de 6 mètres, on retrouve dans une tranchée les mêmes roches accompagnées de couches d'un quartzite schistoïde gris clair, très micacé.

Le quartzite micacé se revoit dans une tranchée qui suit un pont de 10 mètres; la roche y est assez bien conservée; elle est grise, rougeâtre par places, stratifiée en bancs assez épais, séparés par des zones feuilletées montrant la trace d'un laminage énergique. La coupe montre des veines de quartz parallèles ou perpendiculaires à la stratification; quelques-unes sont obliques. Les veines perpendiculaires sont les plus récentes : elles recoupent les autres. Une des veines perpendiculaires est presque verticale et présente la direction nord-sud.

La tranchée qui précède le Ravin de la Chute et ce ravin lui-même (pont de 40 mètres) présentent de beaux affleurements d'un quartzite schistoïde très micacé, chlorité, gris verdâtre, fortement laminé.

Dans la tranchée qui vient après le Ravin de la Chute, on trouve un chloritoschiste vert foncé, finement feuilleté, très laminé, en lits *froncés;* la roche est en très bon état de conservation. Les parties altérées rappellent les roches schisteuses décomposées observées près du Ravin de la Cuve.

Les couches sont inclinées à 45° vers nord 30° ouest, et traversées de veines de quartz.

La tranchée qui suit montre les mêmes roches à l'état d'altération.

Kilomètre 14. — Au delà, une tranchée présente des quartzites schistoïdes gris altérés, et dans celle qui suit, on revoit une belle coupe dans un quartzite schistoïde très feuilleté, fortement micacé, altéré, blanc ou gris clair, présentant des zones analogues aux roches du Ravin de la Chute, mais plus feuilletées. Les couches sont inclinées à 50° vers ouest 20° nord.

Passé le pont du Ravin du Sommeil, on retrouve des roches analogues moins feuilletées, mais présentant des zones chloritées fortement feuilletées (chloritoschiste très quartzeux) et des intercalations d'une roche particulière, très intéressante, déjà observée près de la station de Palabala et plus à l'est.

Cette roche, interstratifiée en bancs de 1, 2 et 3 mètres dans les couches précédentes, est de texture granitoïde, formée de gros grains de feldspath altéré et de quartz, avec très peu de mica et un élément altéré verdâtre (épidote?).

Je suis porté à voir dans cette roche une espèce de gneiss grenu, non feuilleté, pauvre en mica, ou une sorte de leptynite à très gros grain.

Au sortir du Ravin du Sommeil, la tranchée coupe des roches schis-

Digitized by Google

teuses très décomposées, présentant encore des intercalations du gneiss grenu dont je viens de parler (après un pont de 4 mètres). Puis, passé un pont de 6 mètres, on revoit des quartzites schistoïdes gris, rappelant ceux du Ravin de la Chute.

Kilomètre 13. — Des roches analogues, avec parties fortement feuilletées, se retrouvent à l'endroit où la voie s'écarte du Ravin du Diable.

Au delà d'un pont de 6 mètres, une tranchée laisse voir des chloritoschistes altérés, très feuilletés, en lits contournés, froncés.

On voit, dans une tranchée suivante, réapparaître des roches analogues, très altérées, décolorées en gris rougeâtre.

Puis on retrouve des quartzites verdâtres, chlorités et très feuilletés, pétris de filonnets et de veines de quartz. Ces roches, assez analogues à celles du Ravin de la Chute, semblent un intermédiaire entre les quartzites schistoïdes micacés et les chloritoschistes.

Kilomètre 12. — Les tranchées de la boucle de Matadi-Mapembé laissent voir d'abord des roches schistoïdes analogues aux précédentes, puis des chloritoschistes fortement feuilletés et froncés. Les couches, aux environs de la boucle, sont traversées de nombreux filons de quartz, dont certains atteignent une épaisseur de plusieurs mètres. Les débris de ces filons gisent sur le sol en énormes blocs.

Après la boucle de Matadi-Mapembé, on voit apparaître une roche amphibolique en bancs non feuilletés, altérée, paraissant être le gneiss syénitique, mais de structure moins grenue. Au delà du garage, la roche amphibolique se présente à l'état très feuilleté.

Kilomètre 11. — On voit réapparaître le gneiss syénitique non feuilleté; plus loin, il devient plus schistoïde. On arrive ensuite à une belle tranchée présentant les roches amphiboliques en bancs compactes ou en couches feuilletées renfermant des intercalations, en couches de 1 à 2 mètres, du gneiss grenu non feuilleté signalé plus haut. La limite entre les roches amphiboliques, vert foncé, et ces gneiss grenus, blancs ou gris, est toujours très nette. L'ensemble des couches est fortement ondulé.

Kilomètre 10. — A l'extrémité de la grande tranchée et dans la petite tranchée qui suit, on observe les schistes amphiboliques très feuilletés.

La voie arrive sur le flanc du Ravin de la Mpozo. Une petite tranchée offre des gneiss syénitiques en bancs compactes, alternant avec des couches de quartzites chlorités verts, très feuilletés.

Les gneiss syénitiques s'étendent jusqu'au Ravin de la Mission (pont

Digitized by Google

de 25 mètres). Passé ce ravin, on continue à observer des roches amphiboliques en bancs compactes ou en couches feuilletées. Ces roches se montrent jusqu'à la station de la Mpozo, placée à peu de distance du pont de 60 mètres jeté sur cette rivière.

3° *De la station de Kengé à celle de Kamansoki.*

Jusqu'au Col aux Buffles, on ne voit dans les tranchées que des roches schisteuses très altérées (séricitoschistes?). Près du Col, il y a, à droite de la voie, des blocs de roches amphiboliques. Passé le Col aux Buffles, on voit de temps en temps les séricitoschistes fortement décomposés; on en retrouve au Col Sofi et, au Col Tranchée, ils se montrent dans un état plus reconnaissable. En descendant la pente qui fait suite à ce col, on voit, à droite de la voie, un long affleurement de roches amphiboliques très feuilletées, puis reparaît le schiste à séricite. Les deux roches offrent plusieurs alternances. Puis les séricitoschistes, intacts ou altérés, règnent jusqu'à un torrent traversé par un pont métallique de 10 mètres.

Le lit de ce torrent présente des affleurements intéressants. On y voit un schiste sériciteux à grands feuillets, alternant avec des schistes amphiboliques feuilletés, en couches dirigées nord-sud et inclinées à 45° vers l'ouest. Au-dessus de ces couches se montre une masse intercalée de granite à gros grain, au delà de laquelle se représentent les séricitoschistes. Le granite, très grenu vers le bas, devient laminaire vers le haut.

Après un pont de 8 mètres, on retrouve des alternances de séricitoschistes et de schistes amphiboliques, puis ceux-ci se montrent seuls jusqu'à la Duizi, dans le lit de laquelle ils affleurent. On les retrouve encore au delà de cette rivière.

Non loin de Congo Divanga apparaît une roche nouvelle se présentant dans la tranchée en couches inclinées à 30° environ vers l'ouest. C'est une roche de teinte grise, paraissant homogène à l'œil nu, quoique zonée de fines bandes noirâtres. C'est une sorte de gneiss à grain très fin ou de leptynite. Elle forme des bancs compactes ou subschistoïdes; on l'exploite dans une carrière près de Congo Divanga, pour la construction des ouvrages d'art. Dans la carrière, elle est inclinée à 25 ou 30°, également vers l'ouest.

En marchant de Congo Divanga vers la Bembizi, on voit dans des tranchées des schistes amphiboliques et le gneiss à grain fin de Congo

Digitized by Google

Divanga; ces roches présentent de nombreux affleurements des deux côtés de la voie. Un de ceux-ci, qui a servi de repère pendant le tracé de la voie, porte le nom de *Monolithe;* il est situé à droite de la voie, à environ 1 kilomètre au delà du pont sur la grande Bembizi.

A l'endroit où l'on passe du bassin de la grande Bembizi (affluent direct du Congo) dans celui de la petite Bembizi (affluent de la Lufu), on voit apparaître des chloritoschistes d'abord très altérés, puis se présentant en meilleur état près du pont de 30 mètres sur la petite Bembizi et dans la tranchée qui précède la station de la Kamansoki. La roche est vert grisâtre, très feuilletée, en couches inclinées à 45° vers l'ouest 20° sud.

4° *Du Col des Palmiers (kilomètre 78) à la station de Kamansoki.*

C'est entre le Col des Palmiers et le Col de la Plaine, situé à quelques centaines de mètres plus à l'est, que se trouve, le long du chemin de fer, la limite entre la zone cristalline et la zone schisto-calcareuse. Le contact, malheureusement, n'est pas directement visible; mais, tandis que la tranchée du Col de la Plaine montre déjà des schistes accompagnés de calcaire, on trouve dans celle du Col des Palmiers, des roches d'un tout autre caractère, que l'on doit rapprocher de celles que nous allons rencontrer entre ce col et la station de Kamansoki.

Dans la tranchée du Col des Palmiers, on trouve d'abord des schistes fortement altérés, argileux, tendres, rouge pourpre. Certaines parties de la roche laissent voir encore, malgré l'altération, une structure phylladeuse qui montre la nature de la roche. Au delà vient une arkose à grain moyen, blanche, rougeâtre par places, très altérée et devenue friable; les bancs sont traversés de minces veines de quartz à peu près normales à la stratification. A l'extrémité de la tranchée se représentent les mêmes phyllades altérés qu'au commencement. Les couches visibles dans cette tranchée sont redressées à 70° à peu près vers l'ouest.

Les phyllades altérés rouge pourpre se montrent dans plusieurs autres tranchées en couches fortement ondulées. Dans la tranchée du Col de Nsona, on retrouve, sur une grande longueur, l'arkose altérée du Col des Palmiers, suivie par les phyllades altérés en contact direct. Ces roches schisteuses altérées continuent à se montrer au delà, en couches fortement redressées ou verticales; en approchant de la petite Bembizi, elles sont grises ou jaunâtres et très feuilletées.

Digitized by Google

Au delà du pont en courbe jeté sur la petite Bembizi, une longue tranchée montre du côté nord de la voie une coupe dans ces schistes altérés gris, sur une hauteur de 6 à 10 mètres. En face, dans le lit de la rivière, affleurent de beaux phyllades noir bleuâtre, inclinés à 60° vers le sud-ouest environ, dont les roches de la tranchée sont les produits d'altération. Bientôt on trouve, intercalée dans les phyllades altérés, une zone de quelques mètres d'épaisseur d'arkose également altérée. Puis, dans une tranchée faisant suite à la précédente, sur le flanc de la vallée, apparaît un quartzite blanc ou gris, très compacte, très cohérent, feldspathique par place, divisé en bancs peu épais, entremêlé de minces lits schisteux. Ces couches sont inclinées à 45° vers le sud-ouest.

Graduellement, par intercalations, le quartzite passe à des phyllades très micacés. En arrivant à la station de Kamansoki, on voit à gauche, dans le talus, des roches schisteuses très feuilletées, fortement altérées, rouges, qui me paraissent être les chloritoschistes observés au delà de la gare. (Voir page 329.)

D. — Observations faites sur l'ancienne route des caravanes entre Matadi et Tomolokuti.

Ces observations, recueillies lors de mon voyage de 1891, pendant une marche rapide de Matadi au Pool, sont peu nombreuses et très superficielles, et ce que j'ai vu plus tard dans les tranchées du chemin de fer m'a montré quelles opinions erronées je m'étais faites sur la composition géologique du pays lors de mon premier voyage. Dans ce pays où l'altération météorique des roches est si générale et souvent si profonde, les excavations artificielles, telles que celles que nécessite la construction d'un chemin de fer, peuvent seules donner une idée de la composition du sous-sol, et l'on a vu par ce qui précède que même les renseignements fournis par les tranchées sont le plus souvent très incomplets.

De Matadi au point où l'on passait la Mpozo, en ces temps héroïques de la colonisation du Congo, on ne rencontre, comme je l'ai déjà dit (p. 321) que les quartzites micacés et quelques affleurements de roches amphiboliques.

Du camp de la Mpozo, l'ancienne route s'élève sur le massif de Palabala et atteint bientôt le village de Kimpangala. Le pays est formé de couches inclinées à peu près vers l'ouest à 15 ou 20° et la route, courant en général vers l'est, est une série de longues montées sur le plat des

Digitized by Google

couches, suivies de descentes raides sur la tranche. Dans le bassin de la Nséké, le pays est beaucoup moins accidenté et recouvert d'une terre limoneuse, jaunâtre, ne laissant voir que de rares affleurements de roches vert foncé. Les circonstances sont les mêmes dans le bassin de la rivière de Kengé. Les roches si intéressantes que nous avons vues le long du chemin de fer, entre Kengé et Palabala, sont donc ici complétement cachées. Dans le lit de la Duizi, on voit des affleurements, façonnés par l'eau en bosses arrondies, polies, glissantes, de gneiss syénitique d'apparence très massive. Des blocs énormes de roches analogues se rencontrent encore au delà de la Duizi.

On monte ensuite la longue pente qui mène au plateau de Congo-Dalemba. Dans les ravines creusées par les pluies, on voit un schiste altéré argileux, bigarré de rouge brique et de jaune.

De Congo-Dalemba, on descend dans la vallée de la grande Bembizi. Sur les pentes se montrent des schistes verts fortement redressés, dirigés à 25° vers le nord-ouest; on les revoit dans le lit d'un ruisseau, en couches inclinées de 70° vers l'ouest-sud-ouest. La Bembizi coule sur des roches vert foncé moins schistoïdes, se présentant en masses arrondies par l'eau; on les revoit au delà, dans le lit d'un torrent, puis dans celui d'une rivière. En descendant la pente qui mène de la forêt de Massamba à la Lufu, on voit en plusieurs points des roches schistoïdes vertes.

Les affleurements visibles dans le lit de la Lufu sont des roches vertes subschistoïdes que l'on rencontre au delà pendant plusieurs kilomètres encore, puis elles prennent une apparence plus massive et affleurent en grosses bosses arrondies faisant saillie à travers le manteau terreux qui couvre le sol.

Entre Ndembolé et Banza Mantéka, on traverse des collines assez élevées présentant des affleurements de roches schisteuses altérées rouges et d'une arkose altérée analogue à celles du voisinage de la Lufu, près du chemin de fer; l'arkose se présente sur la pente de ces collines en accumulations de gros blocs (1). A quelques kilomètres de là, on pénètre dans la zone schisto-calcareuse.

(1) Avant de connaître l'arkose de la Lufu, j'ai considéré la roche altérée de Banza Mantéka comme représentant dans ces régions un témoin isolé de l'ancienne extension des grès rouges feldspathiques du système de l'Inkissi. Voir : *Les formations post-primaires du bassin du Congo* (ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE, t. XXI, 1894). J'ai été trompé par l'analogie d'aspect qui existe souvent entre les grès feldspathiques de l'Inkissi et l'arkose primaire transformée, par l'altération météorique, en une sorte de grès chargé de grains kaolineux.

Digitized by Google

III. Zone schisto-calcareuse. — IV. Zone des grès.

A. — Observations faites le long de la ligne du chemin de fer entre le Col des Palmiers et le Col forcé (1).

A l'est du Col des Palmiers (voir p. 329), les dépôts superficiels acquièrent une grande épaisseur et, malgré l'importance des tranchées, ne laissent voir que peu de chose sur les roches en place. La tranchée du Col de la Plaine montre des schistes argileux rouges, fortement altérés, avec quelques zones intercalées d'un calcaire argileux bleu, intact. Des indices montrent que ces schistes rouges sont des schistes calcareux privés de leur calcaire par l'altération superficielle.

Nous voyons donc ici, sur la ligne du chemin de fer que nous avons suivie depuis Matadi, apparaître un élément géologique nouveau : des schistes et des calcaires sans trace de métamorphisme remplacent les roches à caractère nettement cristallin que nous observions depuis Matadi.

Sur la rive gauche de la Lufu, le passage des quartzites et des phyllades de la petite Bembizi à ces couches schisto-calcaires n'est pas visible et il est impossible d'observer de quelle nature est la limite entre les deux systèmes, s'ils sont séparés par une discordance ou bien s'il y a continuité dans la stratification. Mais nos observations subséquentes vont bientôt nous permettre de résoudre la question.

Jusqu'au pont de la Lufu, quelques tranchées montrent, sous le limon superficiel, des schistes argileux altérés en rouge brique, analogues à ceux de la coupe précédente. Près de la rivière, sur la rive gauche, on constate qu'ils sont dirigés environ nord-sud et inclinés vers l'ouest à 45°.

Dans le lit de la Lufu et sur la rive droite jusqu'à une centaine de mètres du pont, se montre en bancs épais, verticaux, dirigés nord-sud, le poudingue que je considère comme la base du système schisto-calcareux ; il est bien visible dans les coupes fraîches de la voie et dans le ravin du ruisseau qui rejoint la Lufu près du pont.

Ce poudingue est constitué par une pâte très cohérente, argilo-calcaire, de teinte gris bleuâtre ou gris verdâtre, chargée d'une certaine proportion de grains de quartz de différentes grosseurs et de cailloux bien roulés, de toute taille, de roches de diverses natures.

(1) Ce col est au kilomètre 133.

Digitized by Google

Les éléments roulés du poudingue sont des fragments de granite de plusieurs variétés; de quartzites grisâtres plus ou moins pointillés de feldspath altéré et passant à l'arkose; de grès gris, calcareux; d'un calcaire pur, demi-cristallin, à grain très fin, dur, cassant, de teinte gris-brun foncé; enfin, de calcaire argileux bleu noirâtre.

Les roches qui dominent parmi ces galets sont les granites, les calcaires et les grès calcareux. Les granites proviennent de massifs que je n'ai vus nulle part en place; ils diffèrent complètement des granites que j'ai signalés à côté du gneiss du barrage de la Mia (voir p. 324) et intercalés dans les séricitoschistes et les schistes amphiboliques un peu à l'ouest de la Duizi (voir p. 328).

La présence de galets de calcaire dans le poudingue peut paraître étonnante et il y avait lieu de se demander si, au lieu de fragments roulés d'une roche préexistante, on n'avait pas affaire à des noyaux formés après le dépôt dans la pâte fortement calcarifère du poudingue. Je puis cependant affirmer que les cailloux arrondis de calcaire du poudingue du pont de la Lufu sont bien des galets; ils ont été arrachés à des assises antérieures au poudingue et que je n'ai pu nulle part retrouver en place.

Parmi les différents quartzites, quelquefois feldspathiques, qui se rencontrent à l'état de cailloux roulés dans le poudingue, un certain nombre d'échantillons sont analogues aux quartzites, plus ou moins feldspathiques, que j'ai rencontrés en place vers la petite Bembizi et plus à l'est encore, près des limites de la zone cristalline; d'autres sont analogues à l'arkose qui se rencontre en place un peu à l'est du pont de la Lufu (voir p. 334).

Enfin, les galets de grès calcareux du poudingue de la Lufu proviennent de couches que nous rencontrerons en place sur la route des caravanes entre le Kuilu et la Lunionzo.

Il résulte de ces faits que la formation du poudingue de la Lufu, c'est-à-dire le début du dépôt des couches du système schisto-calcareux, a suivi ou accompagné une importante dénudation qui a fait disparaître en grande partie des couches qui continuaient vers l'est la série que nous avons suivie depuis Matadi jusqu'au delà de la petite Bembizi.

Après la zone de poudingue du pont de la Lufu se présentent, le long de la voie et dans le lit du ruisseau qui est à droite, des bancs d'un calcaire fortement argileux, à grain très fin, compacte, de teinte gris-bleu ardoise; ces bancs sont verticaux et dirigés nord-sud. Ils forment une zone large d'environ 100 mètres; un peu au delà affleurent des schistes argileux altérés, rouge-pourpre, très tendres, qui ne

Digitized by Google

sont probablement que la roche précédente décalcarisée. Leur direction et leur inclinaison sont les mêmes.

Ces couches de schistes altérés sont adossées à une sorte de colline allongée, en forme de crête surbaissée, qui, dirigée à peu près du nord au sud, vient aboutir au côté nord de la voie ferrée. Cette crête est constituée par des bancs épais et massifs d'une arkose gris bleuâtre à grain assez fin, très cohérente, très compacte, très dure. La bande d'arkose se poursuit au sud de la voie et, de ce côté, on l'exploite dans une carrière.

La partie superficielle de la roche et les blocs épars sur le sol sont fortement altérés, devenus poreux, friables et jaunâtres.

Avant le premier pont métallique qui précède la gare de la Lufu, on voit des schistes altérés dans les fossés latéraux. En dehors de la voie, on trouve à la surface du sol des blocs d'un calcaire gris-rose, demi-cristallin.

Aux abords de la station de la Lufu, on ne voit aucun affleurement, mais à quelques centaines de mètres au delà, la voie contourne l'extrémité d'une colline allongée, surbaissée, qui, venant du sud, aboutit à la vallée du ruisseau qui longe la voie depuis le pont sur la Lufu. Cette crête est formée de l'arkose précédente, qui y est exploitée pour moellons.

A 250 mètres au delà se présente de nouveau une crête analogue, également formée par une bande d'arkose; toutes deux sont orientées nord-sud.

Comme nous l'avons vu au pont de la Lufu et comme nous le verrons bientôt au Col de Zolé, le poudingue base du système schisto-calcareux renferme des fragments roulés d'une arkose semblable à celle des trois bandes parallèles qui passent près de la station de la Lufu. Cette roche lui est donc antérieure et je la considère comme faisant partie de la série cristalline, dont elle constitue la dernière partie visible à l'est de la petite Bembizi. Elle présente une grande ressemblance avec la roche que j'ai signalée, intercalée parmi les phyllades, entre la Kamansoki et la petite Bembizi, et qui se représente en outre à l'est de cette dernière rivière, dans la tranchée du Col des Palmiers (voir pp. 329 et 330). L'arkose de la Lufu, comme le quartzite feldspathique de la petite Bembizi, possède d'ailleurs un caractère métamorphique prononcé.

Passé le dernier affleurement d'arkose, la voie traverse le ruisseau et s'élance dans une grande plaine allongée du nord au sud, où l'absence de tranchée ne permet de rien voir de la nature du sous-sol. Cette plaine

Digitized by Google

semble bornée du côté de l'ouest et séparée de la Lufu par une ligne d'élévations très peu accentuées. Vers l'est, elle est limitée de même par des collines très surbaissées qui la séparent du bassin de la Lunionzo.

Cette plaine me paraît être le prolongement méridional de la grande plaine de Tomolokuti que nous traverserons sur l'itinéraire du Lukungu à la gare de la Lufu.

Avant Sipélo, la voie s'élève légèrement sur les premières pentes des collines orientales et présente quelques entailles dans le dépôt terreux superficiel ; en cet endroit, on trouve, enfouis dans le dépôt terreux ou épars à la surface, quelques blocs très altérés de roches siliceuses dont j'aurai souvent l'occasion de reparler par la suite. Ce sont ici des sortes de grès durs, zonés, souvent phtanitiques.

Ensuite, la plaine s'ondule davantage, les tranchées deviennent plus profondes et l'on trouve en abondance ces blocs de roches siliceuses enfouis dans le limon. Ce sont des fragments de plaques épaisses de grès phtanitiques gris foncé; certains échantillons présentent la structure oolithique. Ces roches sont fortement altérées, mais paraissent quelquefois être à peu près en place.

Comme je l'établirai par la suite, ces roches siliceuses font partie de la série des couches du système schisto-calcareux qui commence par le poudingue du pont de la Lufu.

Au delà du ruisseau Gu, la voie s'élève vers Songololo, en entamant par des tranchées assez profondes la nappe épaisse des dépôts superficiels.

Quelques tranchées montrent des schistes argileux rouges dans un état d'altération avancé et passant à une argile laissant à peine reconnaître quelques traces de stratification. Avant d'arriver à Songololo, une coupe dans cette argile, laissant voir des traces de l'inclinaison des couches vers l'ouest, montre un grand nombre de cailloux roulés empâtés; ce sont des fragments d'arkose, de granite très altéré, de quartz, etc. Nous avons donc affaire à un affleurement du poudingue de la Lufu altéré sur place, comme nous l'observerons beaucoup mieux encore au Col de Zolé.

Le poudingue forme donc, de chaque côté de la plaine de Sipélo, une bande dirigée nord-sud; entre ces bandes, on trouve des vestiges des assises supérieures de la série (roches siliceuses oolithiques). Il existe donc, à l'est de la Lufu, un grand pli synclinal assez serré, ayant conservé, dans son milieu, des lambeaux des couches siliceuses supérieures. L'axe du pli, prolongé vers le nord, passe près de Tomolokuti, où l'on observe en grande quantité des blocs de ces roches siliceuses.

Digitized by Google

Poursuivons notre marche vers l'est. A partir de Songololo, le chemin de fer traverse un territoire très peu accidenté, une vaste plaine ondulée, où la plateforme de la voie est établie sur le sol naturel ou dans des tranchées de faible profondeur, ne laissant voir que les dépôts superficiels. On trouve çà et là quelques blocs de roches siliceuses dures du système schisto-calcareux et des blocs anguleux de quartz blanc. On traverse ainsi les larges vallées, marécageuses à la saison des pluies, des rivières ou ruisseaux Zimba, Kunkulu, Gulu, Mavui, Vinsa, Lunionzo, etc., séparés par de faibles relèvements de terrain. L'état marécageux des vallées et la présence d'étangs permanents (Étang des Varanghis, etc.) indiquent la nature schisteuse du sous-sol. Ce sont, avec quelques blocs de roches dures, les seuls renseignements que l'on puisse acquérir directement sur cette région.

Au delà du kilomètre 120, le terrain se relève légèrement et l'on traverse les collines surbaissées qui séparent le bassin de la Lunionzo de celui de la Sansikua.

Passé la Sansikua, le dépôt superficiel renferme quelques cailloux roulés, des fragments de schistes altérés, des blocs de roches siliceuses dures (phtanites altérés, etc.).

En approchant des villages de Zolé, des cailloux roulés de quartzite feldspathique ou d'arkose se montrent en abondance dans le dépôt superficiel. Nous allons voir bientôt quelle est leur origine.

Avant le dernier des villages de Zolé apparaissent dans les tranchées des schistes argileux décomposés sur place en argile et laissant encore distinguer une inclinaison de 10° vers le sud-ouest.

La même chose se répète plus loin ; la roche offre des joints relativement moins altérés, montrant une inclinaison de 30° vers le sud-ouest.

Au delà du dernier village, un poudingue analogue à celui du pont de la Lufu présente une belle coupe dans une tranchée. La pâte, à l'état intact, est gris-bleu verdâtre, de même nature qu'à la Lufu, c'est-à-dire contenant une forte proportion de calcaire ; les parties altérées sont gris sale, gris rougeâtre ou rouge pourpre sale. La roche renferme des galets de granites divers et d'autres roches cristallines, de quartzite feldspathique ou arkose, de calcaire, de grès calcareux, de quartz, etc. Les roches dominantes sont les granites et les quartzites feldspathiques. Cette sorte d'arkose, ordinairement rougeâtre, est à grain plus fin et encore plus compacte et plus cohérente que celle qui affleure près de la station de la Lufu ; elle rappelle plutôt le quartzite feldspathique intercalé dans les phyllades entre la petite Bembizi et la station de la Kamansoki. Elle est très rebelle à l'altération météorique.

Digitized by Google

Le poudingue, dans cette tranchée, est en bancs épais, inclinés à 20° environ vers le sud-ouest. Il présente une fausse schistosité, perpendiculaire au plan des couches et parallèle à la direction; ce qui peut faire croire, à première vue, que l'on a affaire à des couches à peu près verticales.

Une tranchée suivante entame le même poudingue en bancs inaltérés semblant dirigés nord 75° ouest et inclinés à 30° vers le sud-ouest. Les galets y sont nombreux et volumineux; le plus grand nombre sont du granite rose.

A quelques décamètres plus loin, une tranchée montre de nouveau le poudingue, décomposé ici en une argile sableuse renfermant en place les galets plus ou moins altérés.

La voie ferrée s'élève ensuite sur les collines, assez hautes, qui séparent le bassin de la Sansikua de celui du Kuilu; elle décrit des courbes successives très accentuées, qui permettent de voir des coupes dans toutes les directions. La ligne de faîte est franchie au Col de Zolé; de là, la voie descend le versant opposé en décrivant de nouveaux lacets moins accentués.

Les premières tranchées, au commencement de la rampe, montrent des calschistes, gris-bleu à l'état intact, bien divisés en feuillets de 2 à 5 centimètres d'épaisseur, séparés par de minces lits plus argileux. Ils renferment de gros noyaux, de 1 à 2 mètres de diamètre, de calcaire bleu, compacte, assez dur. Les calschistes sont en grande partie décalcarisés, décomposés sur place en une argile rouge ou pourpre, qui laisse encore distinguer nettement la stratification. Les gros noyaux de calcaire bleu persistent dans cette argile, altérés seulement à la surface. Les calschistes paraissent être en couches à peu près horizontales.

A droite de la voie, sur le versant et vers le haut de la colline, se montrent de gros rochers de calcaire compacte paraissant être constitués par des bancs horizontaux.

Un ruisseau, croisé par la voie, montre les schistes calcareux intacts. Bientôt on voit des veines de quartz, de 5 à 30 centimètres d'épaisseur, traversant obliquement ou perpendiculairement les calschistes et restés en place au milieu de l'argile d'altération qui les surmonte.

En approchant du Col de Zolé, on voit, dans de profondes tranchées, réapparaître le poudingue, altéré en un produit argileux bigarré de rouge vif, de jaune, de brun, mais conservant des parties intactes. Il paraît incliné légèrement vers l'ouest, mais les coupes ne sont pas parallèles à l'inclinaison des bancs.

Plus haut, près de l'emplacement exact du col, de grandes tranchées

Digitized by Google

sont creusées dans le poudingue complétement altéré, décalcarisé, transformé en une terre meuble, argilo-sableuse, très poreuse, de teinte rougeâtre ou rose sale, laissant voir encore quelques traces de stratification et des galets, assez clairsemés, restés intacts dans leur position primitive. Ces galets sont surtout formés d'un quartzite feldspathique rougeâtre, à grain fin, très compacte.

La partie altérée du poudingue se montre quelquefois sur toute la hauteur de la coupe, profonde de 6 mètres. Par places, des parties non altérées du poudingue arrivent dans les coupes au-dessus du plan de la plateforme ; ailleurs, on voit des blocs intacts inclus dans le produit d'altération. La roche intacte est gris-bleu.

Au bout de ces longues tranchées, le poudingue à peu près intact est entaillé sur une longueur d'environ 250 mètres et affleure des deux côtés de la voie en bancs épais, paraissant inclinés à environ 20° vers le sud-ouest. La stratification véritable est peu visible; par contre, il existe une fausse stratification divisant la roche en bancs inclinés de 60 à 70°. Les galets dominants sont de quartzite feldspathique rougeâtre; les cailloux de calcaire sont aussi très abondants dans la roche, et les affleurements, par suite de la disparition de ces galets calcaires, ont à la surface un aspect celluleux.

Au delà du poudingue, la voie chemine à flanc de coteau sur une colline qui s'élève à droite, et on voit sur la pente de gros blocs de calcaire demi-cristallin compacte, rose foncé ou rose clair, faisant saillie hors du limon. On voit du reste de nombreux blocs ou affleurements de calcaire sur les collines voisines.

Une tranchée montre ensuite des noyaux de calcaire schistoïde enfouis dans le limon superficiel. La suivante montre des calcaires argileux, schisteux, presque horizontaux, intacts vers le bas, fortement altérés vers la surface. La coupe est traversée de veines, obliques ou parallèles aux couches, de quartz accompagné de calcite dans les parties intactes des bancs.

La tranchée qui vient ensuite présente des calcaires argileux gris-bleu clair en bancs schistoïdes horizontaux. A la surface du sol, on trouve de grosses masses, arrondies ou anguleuses, de la même roche, décalcarisée, transformée à l'extérieur en une matière argileuse, poreuse, entourant un noyau intact.

Les deux tranchées suivantes, avant le Col forcé, présentent des schistes peu inclinés, transformés par places en argile brune. Au-dessus, sur le versant de la colline, s'élèvent de gros rochers de calcaire à aspect ruiniforme.

Digitized by Google

Lors de ma dernière visite (7 septembre 1895), les travaux d'avancement étaient parvenus à proximité du Col forcé, à environ 133 kilomètres de Matadi.

Mes études vont désormais être privées du secours précieux que leur avaient offert jusqu'ici les terrassements de la voie.

Le sentier qui, du village de Zolé, se dirige vers le Col forcé en laissant à gauche les lacets du Col de Zolé, passe sur des collines assez élevées qui montrent des lambeaux de couches, supérieures dans la série aux schistes calcareux, calcaires argileux, schisteux, etc., que nous avons observés dans les tranchées.

Ce sont des calcaires marmoréens très purs, compactes, demi-cristallins, roses, gris-bleu ou blanc grisâtre; j'en ai déjà signalé de gros blocs sur le versant des collines tourné vers la voie.

La roche ne paraît pas tout à fait en place. Ce sont des rochers, parfois énormes, éboulés sur les flancs des collines, souvent en grande partie enfouis dans le dépôt superficiel; sans être schistoïdes, ils présentent une tendance à la division en bancs parallèles, quelquefois très minces, et l'action des agents météoriques leur donne un aspect superficiel rugueux, comme carié.

L'ensemble des couches de ces parages étant peu dérangé, à peine ondulé, ces blocs calcaires doivent être considérés comme provenant de couches, aujourd'hui démantelées par la dénudation, qui occupaient dans la série schisto-calcareuse une position supérieure à celle des calschistes du Col de Zolé (1).

J'ai signalé en plusieurs endroits, dans les coupes observées aux environs du Col de Zolé, la présence de veines de quartz assez minces, dépassant rarement 30 centimètres d'épaisseur, coupant plus ou moins obliquement les couches. En réalité, ces veines ne sont pas constituées uniquement par du quartz. Les parois des fentes qui les renferment sont tapissées par un quartz blanc laiteux, compacte, qui, vers le centre de la veine, laisse des vides irréguliers dans les endroits où les masses rocheuses que traverse la veine ont subi fortement l'action des agents atmosphériques. Sur les parois de cette chambre interne, le quartz a

(1) A environ 10 kilomètres au nord-est du Col de Zolé, à l'ouest de la vallée de la Sansikua, se dresse une rangée de collines dirigées nord-sud et portant sur les cartes le nom de *Montagnes de marbre*. Elles sont, d'après mes informations, en grande partie constituées par du calcaire marbre analogue à celui du Col de Zolé.

Digitized by Google

une tendance à former des cristaux plus ou moins bien développés et souvent on y voit de beaux prismes pyramidés faire saillie vers l'intérieur. Ces cristaux sont tantôt blanc laiteux ou troubles, tantôt parfaitement limpides. Dans l'état primitif, c'est-à-dire quand la roche où est enclavée la veine se présente tout à fait inaltérée, les espaces irréguliers qui occupent le centre sont exactement remplis par de la calcite. Nous avons donc affaire à des filons de quartz et calcite. Je n'y ai pas vu d'autre minéral.

On trouve dans les dépôts superficiels et épars à la surface du sol un grand nombre de blocs de ce quartz de filon débarrassés de la calcite et offrant un aspect irrégulier, accidenté, caractéristique; des cristaux de quartz y sont encore quelquefois adhérents, mais le plus souvent ils sont détachés et se rencontrent isolés dans le dépôt superficiel. Ces éléments quartzeux ont été arrachés aux veines dont ils faisaient partie par les influences météoriques, principalement le ruissellement des eaux pluviales; ils n'ont subi qu'un transport très peu considérable et leur présence indique l'existence de veines quartzeuses dans le sous-sol.

B. — Observations faites le long du tracé du chemin de fer entre le Col forcé et le Stanley-Pool.

Du Col forcé au kilomètre 138, on rencontre, en suivant le tracé du chemin de fer (1), des affleurements peu distincts de schistes et de calcaires, et des blocs de quartz de filon. Au kilomètre 138, on observe sur le sol une grande quantité de galets, principalement de quartzite feldspathique dur, rougeâtre; ce qui indique, à n'en pas douter, une réapparition en sous-sol du poudingue du Col de Zolé et du pont de la Lufu.

Plus loin, vers la Pangasi et sur la rive droite de cette rivière, on ne voit guère d'affleurements distincts, mais partout on trouve des indices de l'existence de schistes calcareux et de filons quartzeux. On rencontre également quelques galets de quartzite feldspathique rougeâtre.

Sur le plateau qui sépare la Pangasi du Kuilu, la route passe à proximité des Roches de Bafu (2), consistant en énormes rochers de calcaire marmoréen blanc grisâtre, disposés en trois ou quatre collines entou-

(1) Cet exposé étant fait d'après des notes de voyage prises en septembre 1895, on comprend que je parle encore du *tracé* dans des régions où le chemin de fer est terminé depuis longtemps.

(2) Le chemin de fer passe au nord-ouest et au nord de ces rochers; notre route les côtoie par le sud.

Digitized by Google

rées de blocs éboulés. Quoique très massive, la roche présente une tendance à la division en bancs subschistoïdes. Ces bancs sont à peu près horizontaux, peut-être légèrement inclinés vers le nord-ouest. La surface des affleurements est largement arrondie ou fortement cariée.

Les Roches de Bafu, comme les blocs de calcaire marmoréen du Col de Zolé, sont des restes de couches continues démantelées par la dénudation.

Au sud des Roches de Bafu et à une distance d'une dizaine de kilomètres, on aperçoit des collines rocheuses ayant un aspect analogue (Diabavo, Kinsundi, etc.). Elles semblent être de la même nature que les Roches de Bafu.

Au delà des Roches de Bafu, notre itinéraire atteint bientôt le Kuilu. En ce point et sur une certaine longueur en amont, la rivière, modérément encaissée, coule sur des calcaires argileux, très feuilletés, gris-bleu, dirigés nord 70° est et inclinés d'environ 10° vers le sud. La roche, fortement corrodée par l'eau et ravinée par le courant, présente dans le lit des surfaces très irrégulières donnant lieu à la formation de rapides aux eaux basses. Ces roches se rapprochent beaucoup des calschistes des tranchées du Col de Zolé. Comme les Roches de Bafu sont vers la cote 380 environ et le lit du Kuilu à 342 mètres, la superposition des calcaires marbres aux calschistes est prouvée ici comme au Col de Zolé.

Du Kuilu au Marché de Kimpessé, on voit sur le sol une grande quantité de menus fragments ou des blocs de schiste (1). En quelques endroits, des affleurements peu distincts montrent une inclinaison très faible. On rencontre par place des galets analogues à ceux du poudingue du Col de Zolé et des blocs de quartz de filon en abondance. En certains endroits, on trouve à la surface du sol ou dans la terre superficielle une grande quantité de beaux cristaux de quartz hyalin.

Entre le village de Kioko et Kimpessé, on voit sur la gauche de grands rochers calcaires singulièrement déchiquetés par les actions atmosphériques; ce sont les Roches de Lamba. Elles sont formées d'un calcaire analogue à celui des Roches de Bafu. Ce sont aussi des témoins isolés de la dénudation presque totale qu'a subie le calcaire marmoréen dans cette région.

A partir du Kuilu, nous voyons apparaître en abondance des roches dont j'ai déjà signalé des blocs isolés entre la Lufu et Songololo et de

(1) Ce que j'appelle *schiste*, d'après des affleurements ou des débris plus ou moins altérés, représente ordinairement les calcaires argileux schistoïdes précédents.

Digitized by Google

Songololo aux villages de Zolé. Ce sont des roches siliceuses d'apparence *très polymorphe*, pouvant présenter, parfois sur un même bloc, des aspects de grès, quartzite, chert, silex, jaspe, meulière, etc. L'apparence la plus commune paraît être celle d'un grès compacte, dur, très cohérent, à grain fin; mais ordinairement les éléments clastiques sont empâtés dans de la silice de seconde formation, au point de donner lieu à des roches d'aspect très varié. Quelquefois, des parties ont un aspect oolithique, ou bien, si les oolithes ont disparu, elles se montrent criblées de petites cellules sphériques ou aplaties. Dans ce qui suit, ces roches seront souvent appelées *grès polymorphes*.

A partir du Kuilu, ces roches se présentent en blocs nombreux, atteignant parfois un volume de plusieurs mètres cubes, souvent rassemblés en grand nombre sur un espace limité. La plupart gisent à la surface du sol, mais beaucoup sont ensevelis plus ou moins complétement dans la terre superficielle (1).

Je considère ces roches siliceuses polymorphes comme des formations (comparables, sinon assimilables, aux « cherts » du calcaire carbonifère de Belgique) intercalées dans les couches calcareuses de la région. Y existent-elles en noyaux, en bancs lenticulaires limités ou en couches continues, je l'ignore. Mais la présence des accumulations de blocs de ces roches étant en général assez localisée, je suis porté à croire qu'elles ont dû former dans les calcaires des intercalations très étendues, mais non continues. Ce sont donc aussi des vestiges de formations, limitées ou continues, intercalées soit dans les calcaires marmoréens, soit dans les schistes calcareux du système schisto-calcareux. L'érosion, qui a profondément agi sur le pays, les a réduites à l'état de blocs isolés.

Ce qui me porte à considérer ces roches siliceuses comme subordonnées aux calcaires du système schisto-calcareux du Congo occidental, c'est que, sur le Lubudi, dans le sud du bassin du Congo, j'ai trouvé des roches semblables intercalées dans le calcaire du système du Lubudi et finissant, vers le haut, par former à elles seules des bancs continus dont l'ensemble atteint une épaisseur considérable (2).

D'ailleurs, dans le Bas-Congo même, nous aurons bientôt l'occasion d'observer en place des couches de phtanites oolithiques intercalés dans

(1) La plupart des *pierres taillées* du Bas-Congo, particulièrement abondantes aux environs de Kimpessé, sont faites au moyen de ces roches siliceuses. Je renvoie au travail que j'ai publié sur ce sujet : *L'âge de la pierre dans le Congo occidental* (BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ D'ANTHROPOLOGIE DE BRUXELLES, t. XII, 1896).

(2) Voir mon mémoire : *Observations sur les terrains anciens du Katanga* (ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE, t. XXIV, 1897, pp. 155-161 et 179).

Digitized by Google

des calschistes faisant partie du système schisto-calcareux (Mission de Kisantu).

Comme nous le verrons plus tard, les couches des *grès tendres du Haut-Congo,* de même que les *couches du Lubilache* qui leur correspondent dans la partie méridionale du bassin, renferment, à diverses hauteurs, des bancs ou d'énormes noyaux de roches siliceuses dures, d'aspect également très variable et pouvant quelquefois, sur des échantillons isolés, être confondus avec des roches analogues du système schisto-calcareux. Mais quand on peut observer la roche en gros blocs, la distinction se fait, en général, aisément. Les roches dures du système du Haut-Congo n'ont pas l'aspect stratoïde ou rubané des cherts ni l'aspect bien caractéristique des couches de phtanites, et ne présentent jamais la texture oolithique; chez elles, c'est l'aspect de grès fin, pénétré de ciment siliceux, qui domine. Il y a cependant des cas où la distinction lithologique serait difficile et où il faut avoir recours à des arguments stratigraphiques pour séparer les deux types.

Il se peut, du reste, que des blocs des deux sortes de roches coexistent dans une même région (1).

Au marché de Kimpessé, on se trouve à proximité de la vallée de la Lukunga, à hauteur du coude que décrit cette rivière en tournant brusquement son cours vers le nord.

Du côté de la rive gauche, le terrain s'élève en pente relativement modérée vers le plateau qui sépare la vallée de la Lukunga de celle du Kuilu. Mais du côté droit, la vallée est limitée par un véritable rempart formé d'une pente rapide aboutissant à un escarpement perpendiculaire qui constitue, parallèlement à la vallée, une haute muraille continue. Cette falaise prend naissance dans la région des sources de la Lukunga, longe la vallée, de Luvituku à Kimpessé, et, de là, se recourbe avec elle vers le nord, en formant devant Kimpessé un éperon élevé, visible à plus de 50 kilomètres à l'ouest.

Le pays, en forme de triangle, délimité de deux côtés par cet escarpement continu et sur le troisième par le cours de la rivière Mpioka, constitue un plateau accidenté portant le nom de *Bangu.*

Nous retrouverons près de Lukungu, sur la route des caravanes, le prolongement nord de cet escarpement (Crête de Mfumfu) et nous

(1) C'est-à-dire là où les grès du Haut-Congo ont existé autrefois et ont été enlevés par l'érosion, en abandonnant des masses de grès durs trop cohérents et trop volumineux pour subir le même sort. (Voir plus loin.)

Digitized by Google

aurons l'occasion d'étudier sa composition. Bornons-nous à dire ici qu'il est constitué par les assises du système de la Mpioka reposant sur les couches à phtanites oolithiques de la partie supérieure du système schisto-calcareux. En face de Kimpessé et plus en amont, vers Luvituku, l'escarpement du Bangu montre de loin les tranches de bancs horizontaux ou largement ondulés.

Les circonstances ne m'ont pas permis d'étudier cet escarpement dans le voisinage de Kimpessé.

Au Marché de Kimpessé, j'ai trouvé quelques blocs, paraissant apportés, d'un grès argileux rougeâtre, avec grains de feldspath altéré.

Au village même, à 1,500 mètres du Marché, et plus loin dans la vallée, j'ai trouvé des blocs de roches non en place, utilisés par les indigènes, mais trop volumineux pour avoir été apportés de très loin. Ce sont d'abord des blocs d'un poudingue analogue à celui du Col de Zolé, mais à éléments roulés plus petits, et d'un calcaire schisteux, analogue à celui qui affleure dans le lit du Kuilu. La présence de ces roches en ce point n'a rien d'étonnant : elle indique l'existence du calcaire schisteux et l'affleurement du poudingue dans les environs.

A côté se trouvent des blocs d'un grès gris foncé, non argileux, légèrement micacé et assez fortement calcarifère, et d'un schiste argileux bien feuilleté, compacte, à grain fin, micacé, coloré en rouge-brun. Or ces roches, de même que les grès rougeâtres feldspathiques trouvés au Marché à l'état de blocs isolés, sont identiques à celles qui constituent le système de la Mpioka et nous les retrouverons bientôt devant Luvituku, dans l'escarpement du Bangu. Si elles sont en place près de Kimpessé, elles indiquent la présence de lambeaux des couches de la Mpioka sur le plateau de la rive gauche de la Lukunga.

De Kimpessé, notre route se dirige vers Luvituku et remonte la vallée de la Lukunga en suivant le flanc gauche, en pente modérée, de la vallée.

Des environs de Lukwakwa jusque près de Luvituku, on rencontre à droite de la route, en dehors de la vallée de la Lukunga, une série de collines surbaissées présentant, du côté de la vallée, la tranche de bancs, sensiblement horizontaux, d'un calcaire demi-cristallin, gris-blanc, analogue à celui des Roches de Bafu et de Lamba.

Plus bas on trouve, le long de la route, des blocs de schistes calcareux plus ou moins altérés, et les dépôts superficiels sont remplis de menus fragments de schistes. Des blocs de grès polymorphes, atteignant parfois plusieurs mètres de diamètre, sont, par place, éboulés sur le flanc des collines et accumulés, souvent en grand nombre, dans le lit des ruisseaux.

Digitized by Google

Sur toute la route, surtout dans les villages, on trouve des blocs de grès gris foncé, micacé et calcarifère, du système de la Mpioka, analogues à l'échantillon trouvé à Kimpessé, mais plus argileux. Ils paraissent tous être apportés, mais doivent provenir de la rive gauche de la Lukunga. Je vais d'ailleurs bientôt établir leur existence de ce côté.

Devant le poste de Luvituku, j'ai escaladé l'escarpement du Bangu pour essayer d'y relever la succession des assises. Malheureusement, en cet endroit, les pentes sont couvertes d'un dépôt terreux qui ne laisse guère voir les roches en place. Vers le bord du talus inférieur, à la cote 504 (1), on trouve de nombreux blocs d'un grès argileux et calcareux, gris noirâtre, finement micacé et rempli de petits grains de feldspath altéré. Cette roche est la même que celle que j'ai signalée au Marché de Kimpessé et dans les villages qui suivent. Par altération, elle donne une sorte de schiste gréseux gris-rouge, jaunâtre ou blanchâtre.

Au-dessus de ce point, la pente est couverte de menus débris schisteux rouge foncé. Près du sommet se montrent des blocs de grès gris, non argileux, légèrement calcareux, chargé de feldspath altéré et légèrement micacé, tout à fait analogue à l'échantillon de Kimpessé.

La partie tout à fait supérieure de l'escarpement (720 mètres) et le plateau irrégulier qui le surmonte montrent des débris de schistes altérés, très fissiles, rouge violacé.

Au sommet d'une colline qui couronne l'escarpement, j'ai trouvé des morceaux de quartz de filon blanc et des blocs de grès dur polymorphe. Ceux-ci doivent appartenir au système des grès du Haut-Congo; ils sont des témoins indiscutables de leur ancienne extension à la surface du Bangu et indiquent qu'ils ont dû nécessairement s'étendre au sud de la vallée actuelle de la Lukunga. Il en résulte que, parmi les blocs de grès polymorphes que l'on rencontre en si grande abondance de ce côté, il y en a certainement qui appartiennent au système du Haut-Congo.

De Luvituku, notre itinéraire se dirige vers le sud-est pour rejoindre à Banza Kuda le tracé du chemin de fer, dont nous nous étions écartés depuis Lamba. Le sentier monte sur le versant méridional, en pente modérée relativement à l'escarpement du Bangu, mais néanmoins assez prononcée, de la vallée de la Lukunga.

En approchant de la ligne de faîte qui sépare le bassin de la Lukunga de celui du Kuilu, on trouve, vers la cote 547, une énorme quantité de

(1) Luvituku, au bord de la Lukunga, étant à 464 mètres d'altitude.

Digitized by Google

gros blocs de grès polymorphes. Plus loin, au voisinage même de la ligne de faîte (568 mètres), se présentent des affleurements peu distincts de schistes gréseux horizontaux, très altérés, blancs ou rougeâtres. Cette roche ressemble absolument aux blocs altérés des roches observées en haut du talus inférieur du Bangu.

Au delà du village de Kinkengani, à la cote 507, on voit des débris des mêmes schistes, altérés, blancs.

Un peu plus loin, dans le lit de la rivière Kiasi (436), se montrent des bancs en place de calcaire demi-cristallin, gris-blanc, qui reparaissent un peu plus loin dans le lit de la rivière Masa Gongo (455).

Au delà, dans un village, on trouve des blocs, non en place, de roches identiques à celles de l'escarpement du Bangu.

Au village de Banza Kuda, sur la Luvu, affluent du Kuilu, on voit de même des blocs apportés de grès calcarifère gris-noir, dur, pointillé de grains blancs de feldspath altéré (467).

Il est donc démontré que les roches du Bangu s'étendent, au sud-est de Luvituku, sur la rive gauche de la vallée de la Lukunga et entre cette vallée et le haut Kuilu. Les altitudes auxquelles on les trouve de ce côté montrent qu'elles sont supérieures aux calcaires marmoréens.

Les blocs de grès polymorphes se rencontrent en abondance entre Luvituku et Banza Kuda, toujours à une altitude inférieure aux roches du Bangu en place.

A partir de Banza Kuda, nous marchons vers l'Inkissi, dans la direction nord-est, en cheminant à proximité du tracé du chemin de fer que nous croisons à plusieurs reprises. Non loin de Banza Kuda, à la cote 482, nous trouvons des blocs de calcaire bleuâtre, demi-cristallin, du système schisto-calcareux et, à environ 6 kilomètres au delà, à la cote 580, réapparaissent les schistes altérés blancs du Bangu.

Les hauteurs qui précèdent le ravin du ruisseau Kama sont couvertes de gros blocs de grès polymorphe. Au fond du ravin, à la cote 518, se montrent des schistes argileux, décomposés sur place en une argile jaune laissant voir encore la stratification horizontale, comme dans les tranchées de Zolé. Au village du même nom, au delà du ravin, j'ai trouvé des blocs non en place de schiste argileux rougeâtre, assez dur, altéré. Ces schistes, comme ceux du ravin, semblent être des états altérés des calschistes du système schisto-calcareux. Le village est à la cote 585.

Au delà de Kama, on observe encore des blocs de schistes altérés blancs et des grès argileux calcarifères, que je rapporte aux couches de la Mpioka, puis la route s'élève en pente rapide sur un sol de sable

Digitized by Google

gris, jusqu'au Nsona Ngungu (795 mètres), le point le plus élevé de notre itinéraire de Matadi à Léopoldville. Nous cheminons ensuite pendant plusieurs kilomètres sur un plateau accidenté, à sol sableux, puis nous descendons vers la vallée de la Lunzadi.

Le Nsona Ngungu est situé sur l'arête culminante d'une chaîne continue de hauteurs, dirigées sud-est nord-ouest, qui séparent le bassin du Kuilu de celui de l'Inkissi et de quelques petites rivières parallèles (1). Vers le nord-est, le versant oriental de cette crête se raccorde graduellement au plateau qui s'étend au sud du Congo, entre Lutété et l'Inkissi. L'autre versant continue son chemin vers le Congo sous forme d'un rempart élevé, constitue le flanc oriental de la vallée de la Mpioka et va aboutir au Congo en amont de Manianga. La ligne culminante, de ce côté, forme la Crête de Kendolo (voir plus loin).

Il eût été intéressant de pouvoir se rendre compte de la signification géologique de ce remarquable trait géographique. L'allure générale des couches de la région étant très régulière, on eût pu espérer y trouver la série des couches de la Mpioka et de l'Inkissi, telles qu'elles se présentent à l'est de Lukungu, surmontant les couches schisto-calcareuses, vues à quelques kilomètres à l'ouest dans le ravin du ruisseau Kama.

Malheureusement, je n'ai pu observer sur les hauteurs de Nsona Ngungu aucun affleurement de roches en place, ni même un seul bloc isolé pouvant fournir un indice sur la nature du sous-sol. Partout un épais manteau de sable forme le sol superficiel des parties élevées de la crête.

Sur le versant oriental, on voit, à partir de la cote 720 environ, apparaître une grande quantité de blocs de grès polymorphes, de dimensions quelquefois colossales, éboulés sur la pente en un véritable déluge de rochers et plus ou moins enfouis dans le dépôt superficiel.

Ces roches siliceuses m'ont paru rentrer dans le type du Haut-Congo: la forme arrondie, à surface souvent cariée, y domine, avec l'aspect de grès fin cimenté par la silice secondaire; on n'y voit pas l'apparence de chert.

Il semblerait donc qu'il existe au haut de la crête du Nsona Ngungu un lambeau des grès du Haut-Congo; du moins ces blocs de roches siliceuses prouvent que ces grès y ont existé. La nature sableuse du dépôt superficiel, caractéristique des régions occupées par les grès tendres du Haut-Congo, corrobore encore cette hypothèse.

Au bas des hauteurs du Nsona Gungu, la route croise les branches

(1) Le chemin de fer franchit l'arête à la cote 725 mètres.

Digitized by Google

tout à fait supérieures de la Lunzadi et passe aux villages de Kiasi (600), Kitala (597) et Banza Mputu (611). On rencontre des blocs de dimensions modérées de grès polymorphes à parties oolithiques, souvent celluleux par disparition des oolithes, ou des fragments de véritables phtanites à texture oolithique. Nous aurons bientôt la chance de trouver ces roches en place; disons dès maintenant qu'elles appartiennent à des assises du système schisto-calcareux. Les roches du Bangu (système de la Mpioka) ne se montrent pas à l'est de la crête de Ngungu.

Au delà du village de Banza Mputu, la route s'élève sur une pente assez prononcée sur laquelle on trouve de petits blocs de roches siliceuses, compactes ou oolithiques, ayant ordinairement l'aspect de phtanites, et quelques blocs de schistes calcareux gris-bleu. Cette pente aboutit à un plateau, à la cote voisine de 700, où se trouve le village de Tongololo.

A Tongololo, on observe quelques blocs de calcaire schisteux bleu et de nombreux fragments de phtanites oolithiques.

A l'est de Tongololo, près du village de Kisonu (705), sur le même plateau, on rencontre aussi des blocs de roches siliceuses dures, souvent oolithiques. On retrouve les mêmes roches sur le versant de la vallée du ruisseau suivant et on y observe, à la cote 572, un affleurement confus de schistes argileux altérés, rougeâtres. De gros blocs de grès polymorphes, avec parties celluleuses, se rencontrent encore au village de Ngunda (602), puis on arrive dans la large vallée de l'Inkissi, où l'on n'observe aucun affleurement ni aucun bloc isolé. La rivière elle-même (540) est bordée d'alluvions argilo-sableuses grises.

La mission de Kisantu est située sur la rive droite de l'Inkissi, au haut du versant de la vallée, à la cote 600. Un petit ravin creuse ce versant entre les bâtiments de la mission et le jardin potager. Au bas, dans le potager même, à un niveau peu supérieur à celui de l'Inkissi (550), on observe, dans des fossés creusés pour l'écoulement des eaux, des schistes bleus, calcareux, presque entièrement transformés en une roche argileuse grisâtre, blanchâtre ou jaunâtre, assez feuilletée; la stratification est sensiblement horizontale.

En remontant le ravin, on rencontre des fragments de ces mêmes schistes avec des blocs de roches siliceuses ayant surtout l'aspect des phtanites et des roches oolithiques ou celluleuses rencontrées si souvent depuis la crête de Ndungu.

Plus haut, à la cote 577, on observe dans le ravin, près d'une source, intercalé dans des schistes décomposés en argile jaune, un banc de

Digitized by Google

60 centimètres d'épaisseur d'un phtanite de texture oolithique; certaines zones sont formées en grande partie de gros grains de 1 à 5 millimètres de diamètre et même davantage; dans d'autres, la texture oolithique n'est visible qu'à la loupe ou au microscope.

Le même banc se montre dans un autre ravin affluent du premier, sous la briqueterie de la mission. La grande quantité de blocs de cette roche que l'on trouve éboulés sur les flancs du ravin semble indiquer qu'il existe des bancs de phtanite oolithique à plusieurs niveaux.

A environ 1,200 mètres au delà de la mission de Kisantu, la route traverse la rivière Nianga (542). On y observe des bancs de calcaire argileux schistoïde gris-bleu ou gris-noir, légèrement ondulés. La direction semble être nord 60° est.

Au-dessus, sur la rive droite de la rivière, se présentent une argile d'altération, puis des blocs de phtanite oolithique.

Après plusieurs vallées marécageuses indiquant la présence en sous-sol des argiles d'altération des schistes calcareux, on arrive au village de Kambo (614), où s'observent de nouveau des blocs altérés de phtanite oolithique.

Au delà, la route traverse la rivière Nguvu (530). Sur la rive gauche, près de l'établissement de la mission américaine, se voit une excavation dont on a extrait des pierres. Les roches n'y sont pas en place. On trouve, en désordre, avec des cailloux roulés et du sable gris, des blocs de grès gris-blanc ou bigarré, de phtanite oolithique et de phtanite gris homogène, de calcaire gréseux gris et d'une roche schisteuse gris bleuâtre, paraissant entièrement formée de stéatite.

Des blocs de ces schistes stéatiteux montrent des fragments de calcaire gréseux gris, empâtés entre les feuillets, et l'ensemble paraît avoir subi un laminage énergique.

Sur la rive droite de la Nguvu, on voit des couches subschistoïdes, horizontales, d'un calcaire gréseux dur, de teinte grise, analogue à celui qui existe en fragments enclavés dans le schiste stéatiteux de l'autre rive. Au-dessus viennent des roches schistoïdes altérées, calcarifères.

Ces diverses observations sont des plus intéressantes. Ces calcaires gréseux, sauf qu'ils renferment une plus forte proportion de carbonate de chaux, sont identiques pétrographiquement à des roches qui existent à l'état de galets dans le poudingue du pont de la Lufu, base du système schisto-calcareux, et que j'ai retrouvées en place entre Nsékélolo et la Luima. Ces roches semblent donc faire partie d'un système plus ancien que la série schisto-calcareuse que nous suivons sans interruption depuis la Lufu.

Digitized by Google

Quant aux schistes stéatiteux dont je viens de parler, j'avoue ne pas me rendre compte de leur présence dans cette région (1).

En gravissant le versant oriental de la vallée de la Nguvu, on trouve sur le sol des blocs de grès dur, blanc ou bigarré de taches ferrugineuses, analogues à ceux qui sont mêlés, dans la carrière de la mission américaine, aux blocs de calcaire gréseux, schistes stéatiteux, etc. Ces grès rappellent beaucoup certaines roches dépendant du système du Haut-Congo.

Plus haut apparaissent, sur la droite du sentier (620 environ), plusieurs grands *ravinements en entonnoir* (2) montrant, sous un dépôt superficiel très épais, une terre rouge pourpre, friable et poreuse, qui présente tous les caractères du produit d'altération des grès feldspathiques de l'Inkissi; la disposition en bancs horizontaux est encore visible.

Dans les environs et plus haut, jusqu'à la cote 662, on trouve des blocs de grès blanc, dur, que je rapporte au système du Haut-Congo.

Près du village de Kinsambi, dans le lit d'un ruisseau encaissé (567), se présentent des affleurements et des blocs isolés d'un grès grossier, rougeâtre, chargé de feldspath altéré et renfermant de petits cailloux roulés de quartz. C'est là le grès feldspathique de l'Inkissi bien caractérisé.

Au delà, la même roche s'observe en gros blocs dans le lit d'une autre rivière (544).

Depuis la Nguvu, nous sommes donc entrés dans la ZONE DES GRÈS.

A partir de Kinsambi, en marchant vers l'est, on voit le pays prendre de plus en plus l'aspect qu'il présente sur les rives du Congo entre la crête de Kendolo et l'Inkissi, région constituée par les grès feldspathiques de l'Inkissi. D'abord, il est sillonné de ravins profonds, boisés, séparant des collines dont les parties culminantes sont à peu près dans le même plan horizontal; puis le caractère de plateau s'accentue et les vallées s'encaissent davantage encore. Les ravinements en entonnoir, caractéristiques surtout de la région des grès feldspathiques, apparaissent nombreux. Le sol superficiel est une sorte de limon sablo-argileux jaune ou rougeâtre.

(1) Le schiste stéatiteux broyé et mêlé à de l'argile sert, dans la région, à la fabrication de poteries à surface gris-bleu clair. J'ai vu cette roche entre les mains des potiers indigènes, dans beaucoup de villages de la rive droite de l'Inkissi; ce qui fait supposer qu'elle affleure en différents endroits dans ces parages.

(2) Sur ces entonnoirs, voir mon travail : *Les dépôts superficiels, etc.* (BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, t. X, 1896, Mémoires, pp. 54 et suivantes).

Digitized by Google

Dans le lit de la rivière Nkussu, aux villages de Madimba et de Banza Mata et dans les ravins suivants, les grès feldspathiques se présentent en gros blocs.

En approchant de Ndembo, le pays devient moins accidenté, les vallées cessent d'être des ravins et l'aspect général est celui d'un plateau ondulé. Le sol superficiel est un sable très mobile, de grande épaisseur. Les parties élevées sont vraisemblablement formées par les grès tendres du Haut-Congo, mais les grès feldspathiques continuent à se montrer dans les vallées.

Nous passons au Marché de Ntampa (657), où l'on trouve des blocs de grès feldspathique, puis nous longeons la vallée de la Lukaia en traversant les affluents Mafumfu (430), Panga (429) et Jovila (423), dans le lit desquels il y a des grès feldspathiques. Les mêmes roches se rencontrent dans le lit du ruisseau Makélelé (393) et aux villages de Kibongo (458) et Maïala (445).

Un peu avant la Mission de Kimuenza, nous traversons la rivière Lukaïa (356). Dans le lit et sur les rives se montrent des bancs épais de grès rouges feldspathiques horizontaux.

C'est le dernier point de l'itinéraire ou l'on observe ces roches. De Kimuenza à la plaine qui borde le Stanley-Pool, on ne rencontre aucun bloc de roche dure; le sol est formé d'un dépôt sableux et gris à la surface, roux et plus ou moins argileux dans la profondeur, comme se présente d'ordinaire le revêtement des grès tendres du Haut-Congo.

C. — Observations faites au Stanley-Pool.

La partie rétrécie du Pool précédant les premières cataractes est bordée immédiatement par des collines qui se rapprochent pour constituer les flancs de la gorge où coule le fleuve jusque près de Manianga. C'est sur ces collines que sont situées Léopoldville et Brazzaville.

A partir du village de Kintamo, sur la rive gauche, les collines s'écartent du Pool en décrivant une grande courbe qui va rejoindre le flanc gauche de la vallée du Haut-Congo au delà de Kimpoko. Entre les collines et la rive du Pool s'étend une vaste plaine sableuse, d'une altitude peu supérieure à celle de la nappe d'eau, mais qui cependant, entre Kintamo et Kinchassa, se termine à la rive par des falaises peu élevées.

En amont de Brazzaville, les collines s'écartent aussi de la rive, mais moins que sur la rive gauche et ne laissent entre elles et le Pool qu'une

Digitized by Google

étroite plaine sableuse; bientôt cependant elles se rapprochent de nouveau et bordent directement la nappe d'eau par des escarpements raïdes et élevés auxquels on a donné le nom de *Dover Cliffs*.

A Kinchassa, à la pointe que forme la rive près du cimetière de la factorerie, on a creusé quelques excavations pour extraire des moellons. On y voit, à partir du niveau de l'eau jusqu'à $2^m,50$ au-dessus, des couches épaisses, ou plutôt un banc unique, paraissant horizontal, de roches siliceuses dures bien en place. A l'état tout à fait intact, la roche a l'aspect d'un grès extrêmement fin, très tenace, très dur et très compacte, mais néanmoins poreux (absorbant rapidement une goutte d'eau), de teinte rouge brique foncé. Par altération, les blocs se décolorent, à partir de la surface, en jaune, puis en blanc et deviennent moins durs. La roche est, en certains endroits, parcourue de fissures ressoudées et approche souvent de l'aspect bréchoïde.

Un peu en aval, entre la pointe voisine du cimetière et l'atelier des steamers, les bancs sont en place jusqu'à 6 mètres au-dessus de l'eau; la partie supérieure est altérée, teintée de blanc bigarré de jaunâtre, etc.

Sur la rive et dans l'eau aux environs de la pointe et plus en amont, vers Ndolo, des blocs de cette roche sont accumulés en grand nombre; ils constituent aussi, en grande partie, les îlots rocheux qui sont en face de Kinchassa.

Dans la plaine qui borde le Pool, sur notre itinéraire de Kimuenza à Kinchassa, j'ai rencontré en plusieurs points dans le lit de ruisseaux et dans la plaine à un niveau peu supérieur, des blocs de grès jaune analogue aux parties altérées des bancs de Kinchassa. En un point, la roche m'a paru bien en place.

Si, de la pointe de Kinchassa, on se dirige vers Léopoldville en suivant la rive, on voit les bancs de grès dur disparaître, probablement par suite d'une légère inclinaison vers l'ouest. Au port de la factorerie et vers le camp de Kinchassa, on ne voit plus de roches dures. En aval du camp, on observe une petite falaise montrant un grès tendre, jaunâtre, à stratification ondulée, reposant sur un grès analogue à stratification homogène. Puis vient une pointe saillante de la rive présentant des accumulations de blocs de roches dures.

Au delà s'avance un promontoire terminé par une falaise d'environ 8 mètres de hauteur. C'est la *pointe Kallina*, visitée et décrite par Oscar Baumann et M. Dupont.

J'y ai relevé, de bas en haut, la coupe suivante :

a) Grès tendre, friable, blanc grisâtre, criblé à la surface de petites

Digitized by Google

cavités semblables à l'empreinte du bout du doigt (1), ce qui lui donne un aspect celluleux;

b) Grès très tendre, jaunâtre, à stratification ondulée. Ce grès, à l'état humide, s'effrite facilement sous les doigts; à l'état sec, il est un peu plus cohérent;

c) Banc de grès dur, brunâtre, jaunâtre ou gris, différent de la roche de la pointe de Kinchassa. Il prend par place des aspects de silex, de jaspe, etc.

Des blocs de ce grès dur sont éboulés sur l'étroite corniche qui longe la base de la falaise; mais aussi bas que j'aie pu voir la partie inférieure de l'escarpement, elle est constituée par les grès tendres *a*. Même aux basses eaux, je n'ai pas réussi à voir des grès durs en place au pied de la falaise de la pointe Kallina. C'est donc par erreur que, dans un travail précédent (2), j'ai considéré les grès tendres *a* comme reposant sur un banc de grès dur; d'après une observation faite aux hautes eaux, j'avais pris les blocs éboulés du sommet et se montrant au-dessus du niveau de l'eau, pour des roches en place.

Un ilot rocheux situé en face de la pointe Kallina est constitué par une accumulation de gros blocs de grès durs.

Au delà du promontoire, une autre pointe présente des blocs de grès durs accumulés, puis un escarpement peu élevé montre de nouveau des grès tendres à stratification oblique, recouverts de blocs éboulés de grès durs. Ces mêmes blocs se rencontrent encore en plusieurs points le long de la rive et jusqu'à une certaine distance dans l'eau, jusqu'au port de Léopoldville et au delà.

Au point où le Congo sort du Pool, aux premières cataractes, M. Dupont a observé des bancs horizontaux constitués par les roches dures du Pool (« *quartzite brun* ») reposant sur le grès rouge feldspathique, également horizontal.

A l'extrémité opposée du Pool, à droite de l'entrée du Congo, se dressent les *Dover Cliffs* de Stanley, escarpements élevés, presque à pic, montrant de larges surfaces blanches, visibles de loin, parcourues de ravinements verticaux. La roche est un grès blanc grisâtre, très friable, stratifié horizontalement; il repose, d'après M. Dupont, sur « des quart-

(1) J'ai retrouvé ces fossettes au bas des parois de grès tendres du Sankulu (Lusambo, etc.); elles ne répondent à aucune particularité de la structure du grès. Je n'ai pu m'expliquer leur origine.

(2) J. Cornet, *Les formations post-primaires du bassin du Congo.*

Digitized by Google

zites bruns et sur des grès jaunes bréchiformes ». Je n'ai pas eu l'occasion d'observer cette superposition; les blocs de roches dures que l'on observe au pied des *Dover Cliffs* m'ont paru éboulés du haut.

D. — Observations faites le long du Congo entre le Stanley-Pool et le confluent du Lopori.

En amont du Pool et jusqu'au confluent du Kassaï, le Congo coule dans une vallée relativement très large, mais néanmoins encore assez encaissée entre des collines. Les grès feldspathiques de l'Inkissi, encore visibles aux chutes de Léopoldville, ont disparu dans la profondeur, et partout où l'on peut observer la nature des collines qui bordent le Congo, elles sont constituées par les grès tendres du Haut-Congo, accompagnés de roches siliceuses dures que je n'ai nulle part pu voir en place, bien que j'aie eu l'occasion, en 1891, 1893 et 1895, d'aborder à la rive en quinze points différents.

Entre le Pool et Lichia, les blocs de roches siliceuses dures à aspect de quartzites (1) ou de silex rouges, bruns, etc., sont nombreux sur les rives et jusqu'à une certaine hauteur au-dessus du niveau du Congo. Leur position primitive est donc notablement supérieure à ce niveau. A Lichia, on trouve des blocs d'un grès à très gros grain, cimenté par de la limonite, brun ou noirâtre, très dur et très dense. Je n'ai pas vu non plus ces roches en place.

En amont de Lichia, on voit un grand nombre d'affleurements étendus de grès gris tendre, surtout sur la rive droite, plus escarpée, où ils forment quelques falaises à pic. Près du niveau de l'eau, les blocs de roches dures se présentent en abondance. On en observe aussi sur les pentes des collines et au-dessus des falaises de grès tendre que je viens de citer.

A partir de Lichia, les roches siliceuses dures se présentent comme des *conglomérats* formés de fragments, arrondis ou anguleux, de quartzite ou silex brun, rouge, rose ou décoloré en gris, jaune, blanc, etc. Les éléments du conglomérat sont de toutes tailles, atteignant quelque-

(1) Bien qu'on éprouve quelque hésitation à appeler *quartzite* une roche de l'âge de celles dont il est question ici, ce terme, au point de vue purement pétrographique, peut leur être appliqué à plus juste titre qu'à certaines roches primaires de Belgique qu'on a l'habitude de désigner par ce mot.

Digitized by Google

fois 2 mètres cubes ou davantage; ordinairement le conglomérat se présente comme une brèche à ciment siliceux. On trouve également des blocs isolés, arrondis, de la même roche que celle qui constitue le conglomérat. Ces masses de conglomérats ou les blocs de quartzite isolés se rencontrent sur les flancs des collines, *jusqu'à des altitudes de 40 et 50 mètres au-dessus du Congo.*

La brèche présente des cavités tapissées de couches d'agate grossière, supportant elles-mêmes un revêtement de cristaux de quartz. Ces géodes sont surtout abondantes dans les blocs que l'on trouve en amont de Ganchu, sur la rive droite.

Des masses bréchoïdes colossales et des blocs isolés de quartzite d'un rouge cochenille se rencontrent nombreux à Kwamouth, jusqu'à 15 mètres au-dessus du fleuve, à la surface du promontoire qui sépare le Kassaï du Congo et sur le bord de l'eau. On les retrouve de l'autre côté du Kassaï, sur le versant et au pied de la colline qui supporte la mission de Berghe-Sainte-Marie. Les conglomérats bréchoïdes formés de blocs de quartzite ou silex rouge, brun, etc., et de gros blocs isolés de cette roche se rencontrent encore en amont du confluent du Kassaï, aussi bien sur le versant des collines (jusque 20 mètres au-dessus du fleuve) que sur le bord de l'eau. On observe ces roches en abondance jusque vers Tchumbiri, puis elles deviennent rares, et, en amont de Bolobo, elles ont complétement disparu.

La suite de mes observations jusqu'au confluent du Lopori ne porte plus que sur les dépôts superficiels.

Il résulte de ce qui précède que je n'ai nulle part observé en place les quartzites ou silex rouges que l'on rencontre en si grande abondance entre le Pool et Bolobo, en gros blocs arrondis isolés ou réunis en conglomérats souvent bréchoïdes. Ceux que l'on trouve dans l'eau et dans le voisinage de la rive sont éboulés de plus haut par suite de l'érosion des grès tendres; j'en ai trouvé sur les flancs des collines voisines du fleuve jusqu'à l'altitude relative de 50 mètres, ce qui prouve que leur position primitive est encore au-dessus, dans des assises que l'érosion a fait disparaître, au moins dans le voisinage du Congo. C'est donc à tort que j'ai dit ailleurs qu'entre le Pool et le confluent du Kassaï, les grès tendres reposent sur des bancs de grès durs : la position de ces grès durs est supérieure au grès tendre des falaises du voisinage de Lichia et le substratum des grès tendres n'est pas visible.

Digitized by Google

E. — Observations faites le long de la route des caravanes entre Léopoldville et la station de la Lufu, par Lukungu et Tomolokuti.

1° *De Léopoldville à Lukungu.* — Quittant le Stanley-Pool au port de Léopoldville, on s'élève sur une colline sableuse jusqu'à l'altitude de 390 mètres, puis on chemine sur un plateau ondulé, coupé de vallées de ruisseaux qui vont rejoindre la gorge du Congo.

Dans le lit d'un ruisseau (cote 340) se trouvent de gros blocs de grès polymorphe (1). Des blocs énormes des mêmes roches dures se voient sur la pente suivante jusqu'à la cote 353, puis dans le lit du ruisseau suivant (318).

Au delà, la vallée d'un ruisseau montre de gros blocs de grès feldspathique rouge (323), puis, sur une crête (356), on revoit les grès polymorphes, puis de nouveau, dans une petite vallée, les grès feldspathiques (329).

On s'élève sur une crête jusqu'à la cote 401, au delà de laquelle, dans une vallée, se représentent des blocs de grès feldspathique (329), que l'on voit aussi dans le lit d'un ruisseau, avant le poste de Sélembao (333).

Au delà de Sélembao, on retrouve encore les grès feldspathiques à la cote 406, puis on passe à Mfumu Koko et l'on s'élève sur une large crête jusqu'à la cote 597, au delà de laquelle se trouve Mfumu Mbê.

Passé ce village, les grès rouges feldspathiques se présentent en place dans le lit d'un ruisseau (385) et, au delà du Luila, on trouve des blocs isolés de la même roche sur une hauteur (470), puis on la retrouve en bancs en place dans la vallée de la rivière Kinzila (390). On arrive ainsi à la rivière Kalamu (315), près du point où elle se jette dans le Congo.

La rivière coule sur des bancs horizontaux de grès rouge feldspathique, dans une vallée encaissée où l'on trouve aussi de gros blocs isolés de grès polymorphe. Le grès feldspathique renferme d'assez nombreux galets de quartz, quartzite, etc. Plus loin, vers la cote 430, on trouve quelques blocs de grès polymorphe.

Le poste de Kinfumu (406) est situé au delà, entre les deux ruisseaux

(1) C'est en ce point que M. Dupont a trouvé, dans les grès durs, un fossile « rappelant les Ampullaires ».

Digitized by Google

Mbulissa et Masa Molé. On trouve dans tous les deux de gros blocs de grès feldspathique plus ou moins altéré, renfermant de nombreux cailloux roulés.

Au delà de Kinfumu, on passe au Kengé Nsanda (556), on traverse la rivière Nsanda (476), puis la rivière Luingu, où l'on trouve les grès feldspathiques en place. Plus loin, on en trouve de nouveau des blocs à la cote 501, avant le Nsona Zwenghi (530).

Passé le Nsona Zwenghi, on retrouve jusqu'à l'Inkissi les mêmes roches dans le lit de deux ruisseaux (445, 426) et sur les crêtes qui les séparent (529, 505).

Au point où l'on passe l'Inkissi (436), on trouve quelques blocs de grès feldspathique avec galets. Un peu en aval, la rivière subit une chute remarquable sur des bancs horizontaux de la même roche.

Les grès feldspathiques se rencontrent de nouveau dans la vallée de la rivière Tialungu (446), puis, dans celle de la Lunzadi, ils présentent de beaux affleurements en bancs bien stratifiés horizontaux (429); la roche y est remplie de galets. On retrouve les mêmes affleurements à la rivière Ngoma (439), avant Nsunghi.

Passé le Nsona Nsunghi (613), on retrouve les grès rouges feldspathiques de l'Inkissi dans le lit de deux ruisseaux (528, 497), puis, aux cotes 553 et 527, on rencontre de gros blocs de grès polymorphe. On passe une crête à la cote 613, puis on traverse les rivières Luasi (465) et Manianga (488), montrant de magnifiques affleurements de grès feldspathique, empâtant de nombreux galets, disposés en bancs horizontaux.

Dans la vallée suivante (506), on retrouve des blocs de la même roche et un grand nombre de gros blocs de grès polymorphe. Puis, dans la vallée de la rivière Kimbenza (491) et dans celle d'un ruisseau voisin, on retombe sur des bancs de grès feldspathique rempli de gros galets.

La même roche reparaît dans le lit du ruisseau (617) qui précède immédiatement le poste de Kendolo, mêlé à un grand nombre de gros blocs de grès polymorphe bien caractérisé.

En quittant le poste de Kendolo (635), la route s'élève jusqu'à l'altitude de 720 mètres, au point où elle croise l'arête que j'appelle la *Crête de Kendolo*. Entre Kendolo et ce point culminant, le lit de trois ruisseaux montre les grès rouges feldspathiques en place et de gros blocs de grès polymorphe. Les grès feldspathiques renferment une assez forte proportion de cailloux roulés.

De la Crête de Kendolo, une descente rapide mène au ruisseau

Digitized by Google

Kunghila (477). A partir de ce point, la nature du sol superficiel se modifie brusquement, indiquant un changement dans les roches en place. Le sable peu argileux qui formait uniformément le sol depuis Léopoldville est remplacé par un limon de ruissellement jaune, peu sableux, rempli d'une abondante grenaille de petits cailloux limoniteux et de menus fragments de schistes. Ce limon repose sur un produit d'altération violet, visible dans quelques entonnoirs.

Sur les collines de la rive gauche du Kunghila; on voit quelques blocs d'un schiste rouge foncé finement micacé.

Nous venons de passer du système de l'Inkissi, exclusivement formé de grès feldspathique ordinairement très grossier et souvent rempli de galets, au système de la Mpioka, où des schistes argileux rouges alternent avec des couches de grès à grain fin, rouge foncé ou noirâtres, quelquefois feldspathiques. La limite entre les deux systèmes paraît se trouver vers la cote 500.

Un ruisseau, à 2 $^1/_2$ kilomètres au delà du Kunghila, nous montre bientôt les schistes rouge foncé en place, en position paraissant horizontale (453). Dans le lit d'un ruisseau que l'on traverse à 3 kilomètres plus loin (446), se montrent également en place des grès feldspathiques à grain fin, parcourus de veinules de quartz et, un peu au delà, dans une autre vallée, du grès noir à grain fin, micacé, dur, analogue à celui que j'ai observé au Bangu, près de Luvituku, et au sud de la Lukunga.

On arrive ainsi à la rivière Mpioka (395).

Près du point de passage, la vallée de la Mpioka est dominée par la masse du mont Mbidi (1000 environ), dont l'escarpement raide présente la tranche de couches horizontales. De grosses masses rocheuses éboulées sur le flanc de la montagne montrent que ces couches consistent essentiellement en schistes argileux et en grès feldspathiques à grain fin, du système de la Mpioka.

La Mpioka décrit des méandres encaissés dans une vallée à versants escarpés. On voit admirablement, dans le lit, des bancs inclinés vers le sud à 5 ou 6°, d'un grès gris à grain fin, très dur, très compacte, pointillé de quelques grains blancs de feldspath et très légèrement micacé. Cette roche est absolument semblable à un échantillon recueilli près de Kimpessé.

A côté des roches en place, on trouve dans le lit de la Mpioka, près du poste, des blocs de roches paraissant être éboulés des versants de la vallée ou descendus, poussés par le courant, de points situés en amont. Ce sont, entre autres, un grès analogue au précédent, mais teinté en

Digitized by Google

rougeâtre; un schiste argileux à grain très fin, très légèrement micacé, gris-bleu foncé, peu fissile; un schiste à peu près semblable, mais bleu ardoise et très fissile, rappelant un échantillon trouvé près de Kimpessé (voir p. 344).

On trouve également, dans le lit de la Mpioka et à l'est de la vallée, de gros blocs de grès polymorphe du type rencontré depuis le Pool.

En s'élevant sur les hauteurs de la rive gauche de la Mpioka, on rencontre d'abord, au-dessus des bancs en place de la rivière, une forte épaisseur de schistes argileux gris, inclinés vers le sud-ouest à 6 ou 8°. Plus haut, on observe des grès gris, durs, légèrement feldspathiques, puis des schistes argileux, puis encore une fois des roches analogues à celles du lit de la rivière, puis de nouveau des schistes rouges et enfin des grès noirs feldspathiques à la cote 509. Il y a donc, sur une hauteur d'environ 115 mètres, plusieurs alternances de zones schisteuses et gréseuses. Les couches, légèrement ondulées, ont une allure générale très régulière.

A la cote 509, on trouve aussi sur le sol des blocs isolés de grès polymorphe.

Au delà, on voit dans le lit de la rivière Luwa (393) des bosses de grès feldspathiques gris et rouges, à grain fin, séparés par des lits de schistes rouges; les couches sont inclinées à 10-15° vers le sud-est. Il y a des blocs de grès polymorphes dans le lit.

Les grès feldspathiques fins se retrouvent au delà en affleurement sur le versant d'une colline.

Au delà de Mfumfu, la route arrive à la cote 524, puis descend d'une façon extrêmement rapide vers la grande vallée de la Lukunga. La cote 524 correspond à ce que j'appelle la *Crête de Mfumfu*. On trouve en ce point des blocs de grès feldspathique rougeâtre, à grain fin.

La descente de la Crête de Mfumfu dans la vallée de la Lukunga permet de faire des observations très intéressantes. Sur la plus grande partie de la descente, de la cote 524 à la cote 312 (Nkandu Ndunga), on rencontre de fréquents affleurements de schistes et de grès rouges, notamment près du Nkandu Ndunga.

Vers le bas de la descente, on voit plusieurs alternances de grès feldspathique violacé et de schistes rouge lie de vin, puis on arrive sur des schistes renfermant inclus de gros noyaux de grès argileux feldspathique violet. Les couches sont légèrement inclinées vers le nord-est. Enfin, au voisinage de la plaine alluviale de la Lukunga (vers 320) apparaissent des affleurements de bancs horizontaux de phtanite oolithique et de phtanite noir; un grand nombre de blocs de ces roches

Digitized by Google

sont épars sur le sol. On chemine ensuite, jusqu'à la station de Lukungu, sur les alluvions qui occupent le fond de la vallée de la Lukunga (235).

On constate donc, vers la cote 320, la superposition, sans apparence de discordance, des couches du système de la Mpioka sur les couches à phtanites oolithiques de la mission de Kisantu (voir p. 348), que je place à la partie supérieure du système schisto-calcareux.

2° *Lukungu.* — La station de Lukungu (260) occupe une colline basse faisant partie du flanc gauche de la vallée de la Lukunga. Une grande quantité de blocs de roches siliceuses dures sont disséminés sur cette colline à la surface du sol ou enfouis dans le limon superficiel. Leur aspect est assez variable, mais, contrairement aux blocs de roches analogues que j'ai observés depuis le Haut-Congo jusqu'à la crête de Mfumfu, on rencontre dans la plupart une disposition en zones parallèles et un aspect de chert. Certaines zones présentent la structure oolithique, ou la structure celluleuse qui en dérive par disparition des oolithes.

Ces roches se rencontrent notamment, en blocs énormes, sur le flanc d'une colline située à proximité de la station, au commencement de la route vers la Lufu; on les voit disposés à mi-côte en un alignement horizontal de plusieurs centaines de mètres de long et éboulés sur les pentes inférieures. Il semble donc y avoir là des restes de couches autrefois continues. Non loin de cet alignement, on rencontre quelques blocs de calcaire gris clair. Je rappellerai ici que je considère ces roches siliceuses en gros blocs, souvent oolithiques, comme des roches comparables à des cherts et subordonnées aux calcaires du système schisto-calcareux.

3° *De Lukungu à Manianga* (1). — La route, au sortir de la plaine alluviale de la Lukunga, s'élève sur la hauteur qui sépare la vallée de cette rivière de celle de la Npioka et croise la *Crête de Mfumfu* un peu au nord du point où nous l'avons traversée précédemment. Les premières pentes, en quittant la plaine de la Lukunga, montrent des schistes bleuâtres renfermant des noyaux arrondis gréseux et feldspathiques, puis on voit des alternances de grès feldspathique rougeâtre et de schistes lie de vin, et enfin, les grès feldspathiques rouge violacé dominent dans les affleurements. Toutes ces roches appartiennent à la partie inférieure du système de la Mpioka.

(1) Cet itinéraire et le suivant font partie de mon voyage de 1891.

Digitized by Google

Dans le ravin de la rivière Luwa, traversée en amont sur l'itinéraire précédent, on voit des couches puissantes de grès feldspathique, gris violacé à l'état intact, rouge lie de vin, jaunâtre ou blanchâtre par altération, dirigées nord 35° est et inclinées à 20° environ vers l'est.

En arrivant à Manianga, on trouve, au confluent de la Mpioka, de beaux affleurements de schistes rouge foncé, inclinés à 8 ou 10° vers le nord-est.

Sur toute la route, on rencontre un grand nombre de gros blocs de grès polymorphe du type du Haut-Congo.

4° *De Manianga à Kendolo.* — En quittant la station de la Société belge du Haut-Congo, on rencontre des affleurements de schistes rouge foncé du système de la Mpioka, traversés de veines de quartz. Des schistes et des grès rougeâtres à grain fin, en couches légèrement inclinées vers l'est, se montrent le long de la route jusqu'à l'étang de Kikiuma.

Au delà de ce point, on gravit les pentes raides qui mènent à la *Crête de Kendolo;* tous les affleurements montrent des grès feldspathiques rougeâtres à gros grain, souvent remplis de cailloux roulés. Ce sont les grès de l'Inkissi.

Les blocs de grès polymorphes du Haut-Congo sont abondants sur toute la route.

A Kendolo, nous rejoignons l'itinéraire de Léopoldville à Lukungu (voir p. 357).

5° *De Lukungu à Tomolokuti.* — Les roches siliceuses dures se rencontrent sur les collines de l'ouest de la vallée de la Lukunga, jusqu'à la cote 335, à l'état de blocs isolés. Leur position primitive doit donc être encore notablement supérieure à cette altitude. Plus loin, à la cote 340, le sol superficiel devient très sableux et l'on rencontre quelques blocs de grès rouge feldspathique à grain très fin, analogues à ceux de l'est de la vallée; les blocs de roches siliceuses dures ne se voient plus à cette hauteur. Il semble donc y avoir sur ces collines des vestiges de roches du système de la Mpioka, mais ces blocs de grès feldspathique, que je n'ai pas vus en place, sont probablement des restes de couches qui occupaient ici une position notablement supérieure à celle où on les trouve aujourd'hui.

Bientôt une rangée de collines, situées à droite de la route, montre une série de beaux affleurements d'un calcaire marmoréen gris blanchâtre, formant des rochers très pittoresques. L'ensemble paraît correspondre à un banc peu incliné d'une épaisseur visible d'environ

Digitized by Google

20 mètres. La roche est identique à celle des Rochers de Bafu, etc. L'altitude des affleurements est à environ 320 mètres.

Aux alentours des affleurements de calcaire et sur les collines qui les surmontent, se rencontrent un grand nombre de blocs de roches siliceuses dures, analogues à celles de la station de Lukungu. Nous avons encore ici la preuve que ces roches ont primitivement une position supérieure à celle des calcaires marmoréens, de même que nous avons constaté précédemment qu'elles sont inférieures aux couches de la Mpioka.

Au delà, la route s'élève vers le Nsona Kibaka. A la cote 387, on trouve des blocs de schistes argileux gris-bleu et, un peu plus haut, des blocs de calcaire argileux bleu. Ces roches me paraissent appartenir aux couches du système schisto-calcareux inférieures aux calcaires marmoréens de Bafu.

Au Nsona Kibaka (396) se rencontrent quelques blocs d'un grès dur, micacé, brun noirâtre, rappelant certains types des couches de la Mpioka. Il existe probablement en cet endroit un lambeau de ces couches et ce point est le dernier où j'aie observé les grès feldspathiques sur cet itinéraire.

A partir du Nsona Kibaka, la route s'élève vers le Kengé Muembé (537), tout en descendant plusieurs fois dans des vallées assez profondes, occupées par des ruisseaux peu importants coulant vers le Congo. Dans la première vallée, au delà du Nsona, se rencontrent des affleurements obscurs de schistes argileux et de blocs de quartz blanc caverneux, analogues à ceux qui caractérisent, plus au sud, sur la ligne du chemin de fer, les veines qui traversent les schistes calcareux.

Au delà, vers la cote 440, on trouve dans les schistes une petite quantité de cailloux roulés de quartz. Nous voyons donc apparaître pour la première fois, sur cet itinéraire, les poudingues à pâte schisteuse de la base du système schisto-calcareux, et la présence de ces roches à cette altitude montre que les couches, qui paraissent presque horizontales près de la vallée de la Lukunga et aux affleurements de calcaire signalés plus haut, sont déjà fortement dérangées au delà du Nsona Kibaka.

Nos observations ultérieures nous montrent que ce plissement s'accentue à mesure qu'on s'avance vers l'ouest.

Les affleurements de schistes se répètent fréquemment jusqu'au Kengé Muembé, accompagnés de blocs de quartz de filon.

A partir du plateau de Kengé Muembé, le pays, fortement accidenté, s'abaisse dans l'ensemble vers la vallée du Kuilu. Dès qu'on descend du

Digitized by Google

plateau, on voit apparaître fréquemment des affleurements obscurs de schistes ou de calschistes; les schistes, ordinairement rouges, ne sont probablement que des calschistes décalcarisés. Dans le lit des ruisseaux et quelquefois sur les flancs des collines, on trouve de nombreux blocs de calschiste (ou plutôt de calcaire argileux schistoïde) analogues à ceux que nous avons observés plus au sud, au passage du Kuilu. (Voir p. 341.)

Au fond d'une vallée, on observe les calschistes en place, en couches verticales dirigées environ nord-sud et, un peu au delà, se montre un affleurement de poudingue à ciment schisteux abondant, disposé en bancs verticaux orientés sud 25° est. L'affleurement est visible sur une grande longueur. Les galets du poudingue comprennent beaucoup de fragments de calcaire compacte bleu noirâtre. Plus loin, les affleurements des schistes rougeâtres continuent à se montrer. Les blocs de quartz de filon caverneux sont nombreux à la surface du sol, souvent accompagnés de beaux cristaux de quartz hyalin.

Un peu avant le Kuilu, on voit dans le lit d'un ruisseau un important affleurement de calschistes gris ardoise, inclinés à 43° vers le sud 45° ouest.

Le Kuilu coule sur des bancs épais, inclinés à 15° vers l'ouest, d'un calcaire marmoréen compacte, bleu ou gris-bleu, d'aspect subschistoïde. Le flanc gauche de la vallée présente des affleurements continus jusqu'à une hauteur d'environ 20 mètres au-dessus du lit. Le calcaire est plus ou moins siliceux, les parties siliceuses étant disposées par zones qui résistent davantage à la corrosion et donnent aux surfaces exposées à l'eau un aspect particulier.

Les couches, qui étaient fortement relevées à l'est du Kuilu, se montrent voisines de l'horizontale dans le lit de la rivière. Cette disposition n'est que locale, comme vont nous le montrer nos observations ultérieures, et correspond au fond d'un synclinal.

Au delà du Kuilu, on marche d'abord sur un sol présentant des indices d'affleurements schisteux et des blocs de quartz de filon. Plus loin apparaissent des affleurements de poudingue en bancs verticaux dirigés à peu près nord-sud. On trouve à la surface du sol et dans le limon superficiel, au voisinage des affleurements, une grande quantité de cailloux roulés. Plusieurs filons de quartz caverneux sont visibles dans les affleurements.

A l'ouest du Kuilu, les rivières Mpété, Lukunga, Luima, etc., coulent dans des vallées assez évasées, séparées par des crêtes ayant à peu près la même direction que les couches schisto-calcareuses.

Digitized by Google

Après le ruisseau Mpété, on voit encore des affleurements de poudingue.

Au delà du ruisseau Lukunga, on observe un nouvel affleurement de poudingue en bancs verticaux faisant fortement saillie et, dans le lit d'un torrent que l'on croise un peu plus loin, un affleurement de calschistes suivi, à quelque distance, d'un nouvel affleurement du poudingue, qui se répète encore un peu plus loin.

On arrive ainsi au poste de Nsékélolo, près duquel on trouve des affleurements de calschistes et de schistes argileux gris ou rouges, en couches verticales dirigées nord-sud.

Un peu au delà, à environ 50 mètres du poste, on voit apparaître sur le sol de gros blocs arrondis d'un grès noir grisâtre, très dur, très compacte, calcarifère, et un peu plus loin, des affleurements d'un autre grès calcarifère gris, assez dur, suivis de schistes durs assez fissiles, gris.

A quelque distance de là se montre un schiste phylladeux bleu noirâtre foncé et, un peu plus loin, un affleurement de poudingue renfermant, entre autres éléments roulés, des blocs du grès calcareux gris précédent. Ces grès appartiennent donc à une formation plus ancienne.

Au delà de la zone de poudingue, on retrouve le grès calcareux gris, dur, en bancs affleurants et en énormes blocs arrondis, répandus à la surface du sol dans une zone d'une centaine de mètres de large, orientée nord-sud; quelques affleurements montrent d'une façon nette une direction analogue.

Ces affleurements sont suivis de schistes argileux altérés en rougeâtre, puis réapparaissent les grès calcarifères, faisant saillie sur le sol en gros rochers et en blocs arrondis, disséminés. Les bancs sont verticaux et dirigés nord-sud.

Les blocs de quartz de filon caverneux continuent à être abondants presque partout sur le sol.

Au delà du dernier affleurement de grès calcareux se présentent sur une colline des schistes argileux rouges pénétrés de veines de quartz. Sur le versant occidental de la colline apparaissent de beaux affleurements de schistes bien feuilletés, gris légèrement verdâtre, en couches dirigées nord-sud. Cette roche est là à l'état intact. Les divers schistes rencontrés depuis Nsékélolo semblent être des cas d'altération de celle-ci.

Puis, jusque la Luima, les schistes se montrent fréquemment, gris-vert ou altérés en rougeâtre. Sur le sol, on voit toujours beaucoup de blocs de quartz de filon.

Digitized by Google

Le fond de la vallée évasée de la Luima est occupé, sur une largeur de 350 à 400 mètres, par les affleurements de bancs verticaux de calcaire marbre orientés nord 25° ouest, c'est-à-dire comme la vallée elle-même en cet endroit. La roche affleure en longues crêtes continues ou en rochers alignés dans le lit de la rivière ou dans la vallée, jusqu'aux versants schisteux qui la bordent. Le calcaire est pur, cristallin, coloré, suivant les bancs, en gris blanchâtre ou gris-bleu, en bleu, en jaunâtre, etc. Les affleurements, arrondis ou corrodés par l'eau, forment des rochers très pittoresques sur les bords de la Luima. La plupart des bancs ont une structure massive; quelques-uns sont plus ou moins schistoïdes. Ils sont parcourus de quelques veines de calcite. Certains bancs sont assez siliceux ; comme au Kuilu, les parties les plus siliceuses sont disposées en zones parallèles formant des crêtes saillantes sur les surfaces exposées aux actions météoriques.

En s'élevant sur le flanc occidental de la vallée de la Luima, on voit apparaître des schistes; puis, vers le haut de la pente, se montre un affleurement de poudingue suivi d'affleurements de schistes gris verdâtre et de schistes altérés rougeâtres, qui se montrent jusqu'à un nouvel affleurement de poudingue, suivi lui-même de schistes gris-bleu, souvent colorés en rouge par altération. Un peu au delà, on retrouve le grès calcarifère gris et dur de Nsekélolo, puis des schistes jusqu'à la vallée de la Lunionzo.

Au fond de cette vallée, dans le lit de la rivière, affleurent des bancs verticaux, dirigés nord-sud, de calcaire bleu et, en escaladant le versant gauche de la vallée, on marche sur des affleurements de schistes et de poudingue. Le poudingue réapparaît plus à l'ouest en gros rochers faisant fortement saillie sur le sol, puis, jusqu'à Tomolokuti, on voit des affleurements de schiste gris ou rouge.

6° *De Tomolokuti à la gare de la Lufu.* — Au poste de Tomolokuti, la route que nous suivons depuis Lukungu s'écarte de l'ancienne route de Matadi par Banza Mantéka (1) et mène vers la gare de la Lufu, en suivant un tracé très sinueux, mais à direction générale nord-sud.

La grande plaine que l'on traverse au delà du poste de Tomolokuti offre des indices de la présence de schistes en sous-sol ; partout on rencontre des blocs de quartz de filon. En plusieurs points, on rencontre de gros blocs de grès polymorphes analogues à ceux de Lukungu et que nous n'avions plus eu à signaler depuis le Nsona Kibaka.

(1) Voir itinéraire de Matadi à Tomolokuti, pages 330 et 331.

Digitized by Google

M. Dupont a vu ces roches de la plaine de Tomolokuti et les a assimilées à celles qui accompagnent les grès tendres du Haut-Congo. Je crois plutôt qu'elles appartiennent au système schisto-calcareux.

D'ailleurs, non loin d'ici, M. Dupont a signalé lui-même, dans les calcaires qui bordent le Congo, la présence de *phtanites*.

Bientôt on quitte la plaine et on s'élève sur les collines qui la bordent vers l'ouest. On y rencontre d'abord des affleurements schisteux, puis on voit un affleurement de poudingue vertical et dirigé nord-sud, suivi, à peu de distance, d'affleurements d'un *quartzite feldspathique* ou *arkose* analogue à celui de la gare de la Lufu. C'est ici le premier point où nous voyons reparaître cette roche que nous avons vue précédemment à la partie orientale de la zone métamorphique.

La route, jusqu'à la gare de la Lufu, suit, d'une façon générale, les couches en direction; ses nombreuses sinuosités la font passer tantôt sur l'arkose, tantôt sur le poudingue, tantôt sur des schistes divers. L'arkose forme des affleurements continus d'une grande longueur, flanqués de chaque côté de bancs à peu près verticaux, épais de 100 ou 200 mètres, de poudingue présentant aussi des affleurements en forme de longues crêtes saillantes ; la route suit longtemps un de ces affleurements. Le poudingue est suivi de schistes gris bleuâtre ou gris verdâtre, inclinés à 60° vers l'ouest.

La superposition du poudingue à l'arkose et des schistes au poudingue est très nette en plusieurs endroits; l'alternance d'arkose, poudingue et schiste se répète à plusieurs reprises. Les bancs d'arkose et de poudingue se suivent très nettement jusqu'à la voie ferrée, près de la gare de la Lufu. Nous rejoignons le chemin de fer en marchant sur une crête surbaissée d'arkose qui aboutit à la voie entre le pont et la gare, et dont j'ai parlé précédemment. (Voir p. 334.)

Digitized by Google

SECONDE PARTIE

Après avoir, dans les pages précédentes, fait l'exposé de mes recherches dans ce qu'on appelle le Bas-Congo et le long du haut fleuve jusqu'au confluent du Lopori, je vais m'efforcer, dans cette seconde partie, de coordonner les faits réunis par mes observations et de résumer celles des géologues qui m'ont précédé sur les rives du Congo et dans les régions qui s'étendent au nord et au sud.

I. — Zone maritime.

Je n'ajouterai rien à ce que j'ai dit plus haut (pp. 315, 316 et 317) des lambeaux de terrains précrétacés, crétacés et tertiaires de la région côtière au voisinage de l'estuaire du Congo et ne profiterai pas de l'occasion pour exposer l'état de nos connaissances sur les formations secondaires et tertiaires de la côte occidentale d'Afrique en général. Pour ce qui concerne les dépôts plus récents de la zone maritime, de même que les formations superficielles des autres zones, je me bornerai à rappeler que j'ai traité ce sujet dans un mémoire spécial publié par la Société belge de Géologie (1).

II. — Zone cristalline.

Dans ma communication préliminaire (2), j'ai divisé les terrains formés de roches à caractère plus ou moins cristallin du Congo occidental en une série de groupes, classés dans l'ordre de succession

(1) J. Cornet, *Les dépôts superficiels et l'érosion continentale dans le bassin du Congo.* (Bulletin de la Société belge de Géologie, t. X, 1896, Mémoires, pp. 44 à 116.)

(2) Idem, *ibidem,* pp. 1 à 10.

Digitized by Google

d'aval en amont, c'est-à-dire de l'ouest à l'est ou de l'extérieur vers l'intérieur du continent.

Je reproduirai ici le tableau que j'en ai donné, en supprimant le point d'interrogation dont j'avais fait suivre le mot *Archéen :*

1. Archéen	A. *Couches de Boma.*
	B. *Couches de Matadi.*
	C. *Couches de Palabala.*
	D. *Couches de la Kiméza.*
	E. *Couches de la Duizi.*
2. Métamorphique. . .	F. *Couches de la Bembizi.*
	G. *Couches de Nsékélolo.*
	H. *Couches de la Nguvu.*

Cet ordre d'énumération ne correspond pas entièrement à l'ordre stratigraphique réel. Je crois qu'il est incontestable que l'ensemble du groupe que j'appelle *métamorphique* est d'âge plus récent que les couches A à E. Le groupe 2 occupe une position orientale par rapport au groupe 1; ils sont bien distincts l'un de l'autre au point de vue pétrographique et nettement séparés géographiquement. Je suis aussi persuadé que, dans le groupe 2, la succession F, G, H est réellement l'ordre d'ancienneté décroissante. Il n'en est pas de même dans le groupe 1 : les couches A et D doivent être considérées comme formant la base de la série et représentant la formation du *gneiss primitif,* les couches réunies dans les catégories B, C, et E devant être rapportées aux termes supérieurs de l'Archéen, à caractère cristallin moins accentué.

1. — Archéen.

Voici quelle est la composition de chacune des zones A, B... E énumérées plus haut.

A. *Couches de Boma.* — Granite de Muserra et Kinsembo; granite porphyroïde du Cul-de-Boma et de la Roche-Fétiche; granite gneissique, pegmatite de la Roche-Fétiche; granite à grain fin du Monolithe; gneiss granitoïde de Chinkakassa; gneiss des environs de Boma; granite à muscovite de la Mission; gneiss grenatifère; granite et gneiss de l'Ile des Princes; gneiss tourmalinifère; granite de Chilemba, etc.

Digitized by Google

Cet ensemble a un caractère indiquant nettement les zones les plus anciennes de l'Archéen.

En amont du granite de la plaine de Chilemba, on voit apparaître des micaschistes divers, des chloritoschistes et des quartzites semblant plus élevés dans la série et suivis bientôt des couches de Matadi.

B. *Couches de Matadi.* — Quartzite micacé aimantifère passant au micaschiste, quelquefois chloriteux; gneiss syénitique grenu; schistes amphiboliques.

C. *Couches de Palabala.* — Ce sont celles que recoupent les tranchées du chemin de fer entre le pont de la Mpozo et le barrage de la Mia : gneiss grenu en bancs peu épais, gneiss syénitiques, schistes amphiboliques, quartzites schistoïdes micacés ou chlorités passant au micaschiste ou au chloritoschiste, etc.

D. *Couches de la Kiméza.* — Rencontrées entre le barrage de la Mia et la station de Kenge : gneiss, gneiss granitoïdes, granites, gneiss grenus en bancs minces, gneiss syénitique, schistes à séricite, etc. Les roches granitoïdes et gneissiques de la Mia et de la vallée de la Kiméza se rapprochent beaucoup des couches de Boma et semblent appartenir aux parties inférieures de l'Archéen.

E. *Couches de la Duizi.* — Séricitoschistes, schistes amphiboliques, gneiss compacte, chloritoschistes, etc. Cette zone se termine un peu à l'est de la station de Kamansoki.

En résumé, il ne nous semble pas douteux que l'Archéen soit représenté dans le Bas-Congo et il paraît y être développé d'une façon assez complète, depuis les gneiss granitoïdes de Boma, de la Mia et de la Kiméza jusqu'aux chloritoschistes et séricitoschistes de la partie supérieure.

La direction des couches du système oscille entre nord 20° ouest et nord 70° est, et l'inclinaison se fait généralement vers l'ouest, sous des angles variables, quelquefois peu élevés.

Au nord du Bas-Congo, la zone archéenne prend nettement la direction nord-ouest, de façon à rejoindre la mer en deçà de la rivière Nianga, ce qui explique qu'on ne la retrouve pas sur l'Ogoué, ni même sur la Nianga. Le point où elle atteint la côte est remarqué par les affleurements granitiques du cap Matuti, près de la baie de Mayumba (voir p. 318) (1).

(1) Pechuel-Loesche, *loc. cit.*

Digitized by Google

Dans le Mayombé français, sur la route de Loango à Brazzaville, on rencontre des roches renseignées comme *leptynolites blanches,* des schistes micacés et des microgranites (1) qui semblent représenter l'Archéen du Bas-Congo. Les schistes micacés renferment souvent, comme les roches de Matadi, de beaux cristaux de magnétite.

Quand on remonte le Kuilu-Niari, à partir de l'embouchure, on traverse, de Mamanya-Matali jusqu'en amont de Ngotu, des quartzites micacés alternant avec de minces couches de phyllades, puis on rencontre un gneiss gris, très compacte.

A Kakamuéka apparaissent des quartzites blancs à grain fin, puis, de Ndundu-Nsanda aux Palissades, se présentent des schistes cristallins suivis de quartzites gris clair très durs. Il est probable qu'il existe là, à côté de roches archéennes incontestables, des couches métamorphiques d'âge plus récent. Le gneiss du Kuilu est souvent granitoïde (2).

Au sud du Congo, la zone archéenne paraît, comme ou nord, s'étendre jusqu'à la côte, comme l'indiquent les rochers granitiques de Muserra et Kinsembo (voir p. 318) (3). Sur la route d'Ambriz à Bembe, on rencontre, non loin de la côte, une zone de schistes cristallins (4).

Sur la route de Noki à San-Salvador, les roches schisto-cristallines règnent exclusivement jusqu'au delà de la vallée de la Lué. A l'est de cette rivière, des granites, souvent gneissiques, constituent le plateau élevé portant le nom de Mongo-Kaïnsa. Jusque la vallée de la Lufu, le pays est formé par des terrains plus récents, laissant cependant affleurer fréquemment le substratum cristallin qu'ils recouvrent. C'est ainsi que le plateau de San-Salvador serait constitué par un massif de schistes cristallins parcouru de puissants filons de diorite et entouré de tous côtés par les calcaires primaires (5).

2. — Terrains métamorphiques.

Je sépare de la série archéenne la roche à caractère cristallin beaucoup moins prononcé que l'on rencontre, le long du chemin de fer, à

(1) Maurice Barrat, *loc. cit.*
(2) Pechuel-Loesche, *loc. cit.*
(3) Idem, *ibidem.*
(4) Monteiro, *Angola and the River Congo,* 1875.
(5) J. Chavanne, *loc. cit.*

Digitized by Google

l'est de la Kamansoki, et sur l'ancienne route des caravanes, à partir des environs de Banza Manteka. J'y ai établi trois subdivisions désignées, au tableau précédent, par les lettres F, G et H.

F. *Couches de la Bembizi.* — Phyllades noir bleuâtre, schistes phylladeux divers que l'on ne voit qu'à l'état de profonde altération: quartzites blanchâtres; quartzites feldspathiques et arkose. Les couches sont fortement redressées et dirigées à peu près nord-sud. L'arkose affleure dans le territoire de la zone schisto-calcareuse, jusqu'au delà de la Lufu, en crêtes allongées du sud au nord, flanquées des deux côtés par les poudingues de cette zone.

Les couches de la Bembizi sont représentées sur les rives du Congo aux environs d'Issanghila, où elles ne forment qu'une zone très étroite (1).

G. *Couches de Nsékélolo.* — Elles comprennent des roches, à caractère cristallin faible ou absent, que je range dans la zone cristalline à cause des rapports intimes qu'elles semblent présenter avec le groupe précédent, où ce caractère est encore très net. Les couches de Nsékélolo font défaut aux abords immédiats du chemin de fer, mais on en rencontre plus au nord, jusqu'au Congo, au voisinage de la limite entre la zone cristalline et la zone schisto-calcareuse. Elles comprennent des grès très cohérents, noirâtres, calcarifères, des schistes grossiers, durs, gris, des schistes phylladeux bleu ardoise et des schistes verdâtres ou bleuâtres très feuilletés.

Ces couches, verticales ou légèrement inclinées vers l'ouest, forment, entre Banza Mantéka et Nsékélolo, des bandes étroites affleurant entre des niveaux de poudingues de la zone schisto-calcareuse. Ces poudingues renferment, comme éléments roulés, des fragments de roches de ce groupe.

Ajoutons que la présence de galets de calcaire dans le poudingue base du système schisto-calcareux, indique l'existence d'assises appartenant au groupe de Nsékélolo et cachées entièrement aujourd'hui par les couches du système schisto-calcareux, en transgression sur le massif cristallin de l'ouest.

H. *Couches de la Nguvu.* — Ce sont les grès durs, calcareux, accompagnés de schistes talqueux que nous avons signalés dans la vallée de la Nguvu et qui semblent avoir une certaine importance sur la rive droite de l'Inkissi.

(1) É. Dupont, *loc. cit.*

Digitized by Google

La zone métamorphique semble se poursuivre vers le nord au moins jusqu'au Kuilu-Niari. Sur la route de Loango à Brazzaville, on rencontre, avant d'atteindre la zone schisto-calcareuse, des roches schisteuses et des quartzites que l'on devra peut-être détacher de l'Archéen. Il en est de même sur les rives du Kuilu Niari.

III. — Zone schisto-calcareuse.

Cette zone est formée par un ensemble de couches présentant de haut en bas :

5° *Des schistes calcareux avec roches siliceuses oolithiques.*

4° *Des cherts, etc., souvent oolithiques.*

3° *Des calcaires marbres.*

2° *Des schistes calcareux ou calcaires argileux schistoïdes.*

1° *Des poudingues.*

Cet ensemble est appuyé, vers l'ouest, contre les formations de la zone cristalline; il forme de ce côté une série de plis serrés, une succession de bassins synclinaux indiquant un refoulement vers l'ouest, contre les massifs anciens. Ces bassins sont sensiblement dirigés nord-sud, limités par des saillies de poudingues en zones allongées parallèles et parfois par des affleurements, sous forme de longues crêtes, des roches plus anciennes qui forment le substratum du bassin (arkose du groupe de la Bembizi; grès et schistes de Nsékélolo).

A mesure que l'on s'avance vers l'est, le plissement des couches schisto-calcareuses devient moins serré; puis on passe à des couches ondulées qui deviennent de plus en plus régulières en présentant un pendage, peu prononcé mais constant, *vers l'est;* cette inclinaison vers le centre du bassin les fait bientôt disparaître sous les grès feldspathiques de la quatrième zone.

Les assises de la zone schisto-calcareuse ont subi une dénudation très importante. Sur une grande partie de la région qu'elles occupent, les poudingues et les schistes calcareux ont seuls subsisté.

Les assises de calcaires marbres ont été en grande partie démantelées; on les retrouve vers l'ouest en bancs presque verticaux, coincés dans la partie médiane des bassins synclinaux dont je viens de parler. Plus à l'est, là où ils ont formé des bancs ondulés ou doucement inclinés vers l'intérieur du bassin, ils n'existent plus qu'en rochers

Digitized by Google

isolés et espacés, jusqu'à ce que, par suite du pendage général, les couches supérieures viennent les recouvrir.

Les roches siliceuses (cherts, etc.) supérieures aux calcaires, quand les couches supérieures manquent, ne se rencontrent plus qu'à l'état de blocs libres.

Voici les caractères essentiels des différentes assises du système schisto-calcareux :

1° *Poudingues.* — Ils sont formés d'une pâte dure et cohérente, argilo-calcaire, de teinte gris-bleu ou gris verdâtre, remplie de grains de quartz de différentes grosseurs et de galets de quartz, de quartzites plus ou moins feldspathiques, d'arkose, de grès calcareux durs, gris ou noirâtres, de calcaire pur bleuâtre ou brun, demi-cristallin et de granites divers. Les grès calcareux et les calcaires sont des éléments remaniés des couches de Nsékélolo, dont l'antériorité par rapport au système schisto-calcareux est ainsi démontrée; les autres roches proviennent de la zone cristalline.

2° *Schistes calcareux* ou *calcaires argileux schistoïdes.* — Ils sont ordinairement gris-bleu plus ou moins foncé; en général bien feuilletés, quoique pouvant souvent se présenter en bancs massifs quand ils sont bien intacts; dans ce cas, l'altération météorique fait apparaître la schistosité. Des parties plus compactes et plus homogènes donnent lieu à de gros noyaux arrondis ou anguleux de calcaire argileux gris-bleu, qui persistent souvent intacts au milieu de l'argile résultant de la décomposition sur place du reste de la roche, ou que l'on trouve à la surface du sol, dégagés par l'action du ruissellement.

3° *Calcaires marbres.* — Dans la région occidentale de la zone schisto-calcareuse, on les trouve en place, pincés dans la partie médiane des bassins synclinaux. Ainsi, à l'endroit où l'ancienne route des caravanes croise la Luima, on les voit disposés en une série de bancs épais, verticaux, alignés à peu près du nord au sud en une bande d'une largeur totale de près de 400 mètres. La roche est demi-cristalline, à grain très fin, très compacte, blanche ou colorée en gris, gris bleuâtre ou jaunâtre. Le Kuilu, au point de passage de la route des caravanes, présente des affleurements splendides de calcaires marbres diversement teintés.

Plus à l'est, dans les régions où l'allure des couches schisto-calcareuses est plus régulière, les bancs de calcaires marbres ont été presque complètement balayés par l'érosion et on n'en retrouve plus que des

Digitized by Google

témoins isolés, sous forme de rochers souvent très pittoresques. Tels sont les marbres jaunes et roses du Col de Zolé, les roches des Montagnes de marbre, les Roches de Bafu, les Roches de Lamba, les rochers dia Bavo, le mont Kinsundi et les beaux rochers de marbre blanc, gris ou bleu qui se voient au nord de la route des caravanes, entre le Nsona Kibaka et Lukungu.

Plus à l'est encore, les calcaires marbres ne se rencontrent plus que dans le fond de quelques vallées : avec les assises sous-jacentes du système schisto-calcareux, ils plongent vers l'est et sont recouverts par le terme supérieur du système, que surmontent bientôt, à leur tour, les assises des grès feldspathiques.

4° *Cherts*, etc. — Je n'ai eu nulle part l'occasion de voir ces roches *in situ*, mais j'ai pu cependant établir que leur place se trouve entre les calcaires marbres et l'assise supérieure du système. Bien que je les désigne, pour abréger, par le terme commun de *cherts*, elles sont loin de présenter un aspect unique et uniforme.

Ces roches apparaissent, peut-on dire, dès la limite occidentale du système schisto-calcareux, mais ce n'est qu'à l'est du Kuilu qu'elles deviennent abondantes. Elles se présentent en blocs nombreux, parfois colossaux, souvent rassemblés en grand nombre en des espaces limités, sur les plateaux, le penchant des collines ou dans le fond des vallées.

Ce sont des roches siliceuses d'apparence très polymorphe, pouvant présenter, parfois sur un même bloc, des aspects de grès, quartzite, phtanite, chert, silex, meulière, etc. Le type le plus commun paraît être une sorte de grès compacte, à grain fin; mais, ordinairement, les éléments clastiques sont empâtés dans de la silice secondaire, au point de donner lieu à des roches d'aspect très homogène. Souvent des parties de blocs prennent un aspect oolithique, ou bien, si les oolithes ont disparu, elles se montrent criblées de petites cellules sphériques ou aplaties.

Ces roches me paraissent représenter des formations siliceuses mi-clastiques, mi-concrétionnées, analogues à nos cherts du calcaire carbonifère, formant des bancs interrompus, des lentilles, etc., vers la partie supérieure des calcaires marbres. J'ai trouvé au Katanga des roches analogues accompagnant des calcaires.

5° Les calcaires marbres et les roches siliceuses précédentes sont surmontées, vers l'est, d'une série de schistes calcareux ou de calcaires argileux schistoïdes gris-bleu, rappelant beaucoup ceux qui font suite aux poudingues de la base, mais renfermant intercalés des bancs bien

Digitized by Google

distincts, plus ou moins épais et espacés, de roches siliceuses comparables à des silex ou à des phtanites et de texture oolithique.

Cette assise supérieure du système schisto-calcareux a été enlevée par la dénudation sur la plus grande partie de la zone. Aux abords du chemin de fer, on ne la trouve que dans le bassin de l'Inkissi, à l'est duquel elle disparaît bientôt sous les grès feldspathiques. Aux environs de Lukungu, elle affleure sur le flanc oriental de la grande vallée de la Lukunga en une zone intercalée entre les calcaires marbres avec cherts et les assises des grès de la Mpioka. On n'en trouve que des lambeaux à l'ouest de Lukungu.

Les terrains schisto-calcareux du Congo occidental se prolongent au sud sur le territoire portugais où ils occupent une grande étendue de pays dans les bassins des fleuves côtiers et dans celui du Haut-Kwango.

Au nord du Congo, on les retrouve dans les bassins du Loango et du Kuilu Niari. Ils s'y présentent avec des caractères analogues à ceux qu'ils offrent au voisinage du grand fleuve.

Les calcaires y ont une grande importance et sont souvent dolomitiques. On retrouve, dans cette région, des poudingues calcareux, des roches oolithiques et des roches siliceuses identiques à nos cherts, etc., du Congo (1).

Le système schisto-calcareux présente les plus grandes analogies, au point de vue de la nature des roches et des rapports stratigraphiques, avec les terrains du sud du bassin du Congo que j'ai assimilés au Devonien et spécialement avec mon *système du Lubudi* (2).

IV. — Zone des grès.

Cette zone est occupée par deux groupes superposés, entre lesquels existe, comme je l'ai constaté dans d'autres parties du bassin, une discordance de stratification.

1° Groupe supérieur. — *Grès tendres du Haut-Congo.*

2° Groupe inférieur. — *Grès feldspathiques.*

(1) Barrat, *loc. cit.* — M. Bertrand, *La géologie du bassin du Niari.* (Revue générale des sciences pures et appliquées, 15 novembre 1894.)

(2) Voir nos *Observations sur les terrains anciens du Katanga.*

Digitized by Google

1° Grès feldspathiques (couches du Kundelungu).

Ce groupe se divise à son tour en deux systèmes superposés, séparés probablement par une nouvelle discordance.

B. *Système supérieur, ou de l'Inkissi.* — Grès rouges feldspathiques avec galets.

A. *Système inférieur, ou de la Mpioka.* — Schistes, psammites et grès sans galets.

A. *Système de la Mpioka.*

Ce système est constitué par des schistes argileux rouge foncé, plus ou moins micacés, passant au psammite, alternant avec des grès à grain fin ou moyen, très cohérents, souvent feldspathiques, quelquefois très purs, de teinte rouge foncé, grise ou noirâtre.

Ces couches reposent sur le système schisto-calcareux en discordance de stratification; elles sont légèrement ondulées et pendent, dans l'ensemble, vers l'est, en plongeant sous le système de l'Inkissi. Contrairement à ce système, elles renferment des veines de quartz.

Le système de la Mpioka constitue le *Plateau du Bangu,* qui se termine du côté de la vallée de la Lukunga par un escarpement raide couronné par la *Crête de Mfumfu* et montrant la superposition de ce système sur l'assise supérieure du système schisto-calcareux. On en retrouve des lambeaux sur les hauteurs de la rive gauche de la Lukunga, vers l'ouest aussi bien que vers le sud.

B. *Système de l'Inkissi.*

Il consiste en bancs épais de grès très grossiers, fortement chargés de gros grains de feldspath altéré, de teinte rouge ou brune et remplis, surtout vers la base, de nombreux galets, petits ou moyens.

Les bancs de ce système sont d'allure très régulière et en pente faible vers l'est.

A l'est de la vallée de la Mpioka, les couches de l'Inkissi se superposent à celles de la Mpioka et se dressent en un escarpement élevé que termine la *Crête de Kendolo.*

Aux abords du chemin de fer, la limite occidentale des grès de l'Inkissi est reportée beaucoup plus à l'intérieur du bassin, jusque vers le village de Kinsambi.

Notre coupe montre que ces deux systèmes des grès feldspathiques, coupés par les vallées d'érosion de la Mpioka et de la Lukunga, se sont

Digitized by Google

autrefois étendus considérablement vers l'ouest, à la surface de la zone schisto-calcareuse, et ont probablement atteint la zone cristalline.

2° Grès tendres du Haut-Congo (couches du Lubilache).

Près de Léopoldville, on les voit nettement reposer sur les grès de l'Inkissi, mais ils existent déjà plus à l'ouest, et l'on trouve des vestiges de leur ancienne extension occidentale, au moins jusqu'à la crête de Mfumfu.

Ces dépôts consistent essentiellement en grès siliceux blancs ou jaunâtres (du moins dans cette région), très purs, tendres, friables sous les doigts, formant des couches épaisses de plusieurs centaines de mètres et à stratification ondulée et entre-croisée.

Au Stanley-Pool, ils reposent sur les grès feldspathiques, par l'intermédiaire de bancs de grès fins, très durs, rouge foncé ou bruns.

On trouve en outre sur les rives du Pool, du Haut-Congo jusque vers Bolobo, sur celles du bas Kassaï et sur les collines qui les bordent, jusqu'à 50 mètres au moins au-dessus de l'eau, des blocs de roches siliceuses dures, à aspect de quartzite, de jaspe, etc., rouge, brun, etc., atteignant un volume colossal. Ces roches appartiennent à des assises supérieures du système, aujourd'hui enlevées dans ces régions, mais que j'ai trouvées en place dans les parties méridionales du bassin. Elles ont résisté à la destruction et à l'entraînement, et sont descendues sur les pentes, grâce à leur cohérence et à leur volume.

Ce sont ces blocs qui, répandus en grand nombre à la surface du sol, à l'ouest du Pool et au moins jusqu'à la crête de Mfumfu, constituent les témoins de l'ancienne extension des grès du Haut-Congo dans cette direction.

En amont de Bolobo, on ne trouve plus sur les rives du Congo que des nappes horizontales d'alluvions argileuses et sableuses, datant d'une époque où le niveau moyen du fleuve était notablement plus élevé.

On sait que les grès feldspathiques (couches du Kundelungu) et les grès tendres du Haut-Congo (couches du Lubilache) ont une immense extension géographique dans la région congolaise, et qu'ils débordent même dans les bassins hydrographiques voisins. Je me suis longuement occupé de cette extension dans un travail spécial (1).

(1) J. Cornet, *Les formations post-primaires du bassin du Congo.* (Annales de la Société géologique de Belgique, tome XXI.)

Digitized by Google

LE DOSSIER HYDROLOGIQUE

DU RÉGIME AQUIFÈRE EN TERRAINS CALCAIRES

ET LE RÔLE DE LA GÉOLOGIE

DANS LES RECHERCHES ET ÉTUDES DES TRAVAUX D'EAUX ALIMENTAIRES (1)

PAR

E. VAN DEN BROECK

Réponse à la note de M. l'ingénieur Th. Verstraeten

intitulée :

HYDROLOGIE DES ROCHES

NÉCESSITÉ DE PRÉCISER LES SITUATIONS ET LES TERMES

A la séance du 11 mai 1897, consacrée à des questions de *géologie appliquée*, M. l'ingénieur Th. Verstraeten a fait à la *Société belge de géologie*, une communication orale, longuement développée, qui avait été annoncée à l'ordre du jour sous le titre assez anodin : *Hydrologie des calcaires. Nécessité de préciser la situation et les termes.*

Mais l'audition de cet exposé ne correspondait guère aux prévisions qu'aurait pu faire naître le titre ci-dessus rappelé. Le travail de M. Verstraeten s'occupait en effet, avant tout, d'engager avec des

(1) Voir, pour guider la lecture ou les recherches, la **Table détaillée des matières**, qui clôture cet exposé.

Digitized by Google

confrères géologues, ayant émis des thèses et des idées sensiblement différentes de celles admises par M. Verstraeten, une polémique scientifique passablement vive. M. A. Rutot et moi y étions particulièrement visés au sujet de divers travaux relatifs à l'hydrologie des calcaires, travaux écrits les uns isolément, les autres en collaboration. L'auteur y prenait aussi à partie M. Éd. Dupont, et toute cette polémique était présentée sous une forme et dans des termes dont la vivacité dépassait de beaucoup les usages de la discussion scientifique.

Après avoir exprimé assez nettement, en séance, ma manière de voir et aussi mon étonnement au sujet de ce procédé, et formulé ensuite une courte réponse préalable, j'attendis vainement, après avoir fait appel à l'intervention éventuelle, tout indiquée en l'occurrence, de notre *Comité de rédaction,* j'attendis sans succès, dis-je, le dépôt du texte de mon honorable contradicteur. Faute de ce document, je ne pus donc préparer la réponse détaillée que j'avais en vue et que j'avais d'ailleurs l'intention de maintenir dans un domaine un peu plus « scientifique » que l'exposé de M. Verstraeten.

J'attendais toujours la remise espérée, lorsqu'au commencement de l'année 1898 parut, dans la première livraison du tome XXI des *Annales de l'Association des ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand*, un mémoire développé de M. Verstraeten, intitulé : *Dissertations hydrologiques : Réponse à MM. Rutot et Van den Broeck.*

Or ce travail n'était autre chose que la rédaction primitive de la communication faite chez nous le 11 mai 1897, et que l'auteur avait sagement renoncé à présenter tel quel à une Société de géologie. Le changement de titre était à lui seul significatif et dénotait *la véritable portée du travail*, qui consistait, sous le prétexte de « préciser la situation et les termes », à échafauder un véritable réquisitoire, — on verra plus loin combien fragile, — contre des géologues ayant eu l'audace grande d'avoir, sur le régime aquifère des terrains calcaires et sur l'immixtion des géologues en matière de travaux d'hydrologie appliquée, des convictions autres que celles énoncées par M. l'ingénieur Verstraeten. Je ne veux même pas relever ici les allures fâcheuses de ce travail, qu'une simple lecture faite, sans parti pris, suffisait à classer bien loin des travaux d'ordre scientifique. Les géologues attaqués étaient si certains que tout lecteur impartial et quelque peu au courant du sujet traité ne pouvait manquer d'être rapidement édifié sur la valeur et sur la portée de cette polémique, que personne, parmi eux, ne crut devoir répondre au travail de M. Verstraeten.

D'autres circonstances sont venues, depuis lors, modifier cette situa-

Digitized by Google

tion, et elles ont été indiquées dans le procès-verbal de la séance du 11 mai 1897.

Par suite d'un fâcheux concours de circonstances, l'ensemble des *Procès-Verbaux* de nos séances de l'année 1897 n'a pu passer à l'impression qu'en décembre 1900. C'est à ce moment seulement que fut remis à la Société le texte d'un exposé de M. Verstraeten, portant à nouveau l'ancien titre du mémoire de 1897 : *Hydrologie des roches. Nécessité de préciser les situations et les termes*, travail qui, imprimé depuis lors, occupe les pages 93 à 114 des *Procès-Verbaux* de 1897. S'il en est ainsi, c'est que ce mémoire n'était, en réalité, qu'une nouvelle édition, qu'une reproduction, mais cette fois assez soigneusement amendée et adoucie, au moins dans la forme, de la *première partie* de la communication de M. Verstraeten du 11 mai 1897, soit du chapitre qui traite, dans une certaine mesure, du désir de l'auteur d'unifier certains termes et de combattre certaines définitions courantes, acceptées et admises par M. Rutot et moi, à l'exemple de bien d'autres géologues et hydrologues de tous pays.

Présenté cette fois-ci sous une forme plus modérée et visant moins les personnalités que le factum inséré, en 1898, dans le recueil gantois, ce travail, malgré le fait, peu correct, de cette publication préventive en dehors de notre *Bulletin*, et l'énorme retard de son dépôt sous une forme acceptable, devait, en conscience, être admis, et il l'a été sans aucune difficulté, et cela la veille même du jour où devait partir pour l'impression l'énorme paquet de manuscrits des *Procès-Verbaux* de 1897 au complet. Dans ces conditions, il m'a naturellement été impossible de préparer une réponse assez à temps pour qu'elle pût paraître, dans le procès-verbal du 11 mai 1897, à la suite de l'exposé de M. Verstraeten, et j'ai dû me borner à annoncer simplement, dans celui-ci (p. 115), la nécessité du transfert, dans les *Mémoires*, de la réponse détaillée que j'ai jugé nécessaire de faire à mon honorable contradicteur.

Des débats personnels de cette nature ne peuvent intéresser les membres de la Société, comme le disait la note succincte fournie dans le Procès-Verbal du 11 mars 1897, à la suite de l'exposé de M. Verstraeten, qu'à la seule condition de satisfaire au dicton bien connu que « du choc des idées jaillit la lumière ».

Tel est, dans ma présente réponse, le but que j'ai cherché à poursuivre avant tout autre.

Certes, j'ai pensé qu'il serait utile de répondre en détail aux nombreux points au sujet desquels mon honorable contradicteur a mal

Digitized by Google

compris ou inexactement interprété les idées que MM. Dupont, Rutot et moi avons défendues. J'ai aussi cru devoir relever les nombreux cas où M. Verstraeten s'est évertué à transformer une discussion scientifique en de *pures querelles de mots*, d'autant plus qu'il nous adresse, à M. Rutot et à moi, des reproches qui, en réalité, nous laissent parfaitement indemnes. Ces reproches, en effet, ne pourraient atteindre que les maîtres de la Science, les plus éminents, les plus incontestés, que nous avons fidèlement pris pour guide et que M. Verstraeten se permet ainsi de morigéner sans scrupule.

Mais les développements qui vont suivre et le temps que leur lecture nécessitera à mes lecteurs ne me sembleraient guère justifiés si je m'étais borné à l'égoïste satisfaction d'une réponse péremptoire aux attaques de M. Verstraeten. J'ai heureusement pu introduire dans cet exposé, et tout en lui laissant sa forme de discussion scientifique et de réfutation personnelle, un bon nombre de faits nouveaux ou peu connus et d'aperçus synthétiques. J'y ai même trouvé l'occasion de rectifier certaines opinions antérieures émises par M. Rutot et moi, et où la critique de M. Verstraeten a pu, assez exceptionnellement — car le cas ne s'est présenté que deux fois — trouver matière à s'exercer au bénéfice de la vérité scientifique.

Enfin, par les nombreuses citations précises d'auteurs et de spécialistes éminents ayant traité, même tout récemment, des sujets étudiés contradictoirement par M. Verstraeten et par mes collègues géologues et par moi, je pense être arrivé à avoir fourni dans la Réponse qui suit et surtout dans ses Annexes, très développées, un véritable répertoire de définitions et d'opinions de maîtres de la science, tant en géologie qu'en hydrologie, dossier qui ne sera pas sans utilité pour arriver au but indiqué dans le titre du travail, dernière manière, de M. Verstraeten : *Nécessité de préciser les situations et les termes.*

Quoique mon honorable adversaire ait transformé, par la forme très spéciale de son exposé, une pure discussion scientifique en un véritable réquisitoire, je n'ai pas cherché à lui opposer de vaines plaidoiries contradictoires; je me suis contenté, après avoir fourni quelques exemples (trois seulement, que l'on trouve énumérés tout d'abord) de son *mode de polémique*, de réunir, à la suite, les éléments d'un véritable DOSSIER *de l'hydrologie des calcaires*, où chacun pourra puiser, suivant ses convenances. A ce titre donc, je crois justifiée l'étendue donnée au présent exposé, dans l'intérêt scientifique duquel je me suis cru autorisé, eu égard aux circonstances et à mon but d'intérêt général, à profiter de la date (janvier 1901) de la présente rédaction pour emprunter

Digitized by Google

à de multiples textes, ayant paru depuis mai 1897, des passages et extraits que j'ai cru utile de fournir comme éléments d'appréciation dans le débat.

Je passe maintenant aux trois points que je désire relever tout d'abord :

1° Les critiques de M. Verstraeten, en ce qui me concerne, ne sont pas, comme on pourrait le croire à la lecture de son travail, toutes formulées d'après des textes imprimés ou bien rédigés par moi en vue de la publicité scientifique.

L'étude critique de M. Verstraeten s'adresse, en effet, trop souvent à des *souvenirs* de discussions de séances ou à des énoncés improvisés au cours de controverses, dont M. Verstraeten croit se rappeler les termes (1), et qu'en réalité il eût été bon de ne rencontrer, dans une

(1) C'est ce que l'auteur lui-même avoue fort nettement dans la version primitive de son exposé, publiée dans les *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand*. Dans ce recueil, le dit travail est étendu à des dimensions doubles de l'extrait reproduit dans notre *Bulletin*, et se compose de deux parties. La première constitue, mais sous une forme moins adoucie que le texte remanié par l'auteur, l'exposé qu'a fourni M. Verstraeten pour le procès-verbal du 11 mai 1897; la seconde a été rédigée en vue de rencontrer ce que M. Rutot et moi avons exposé sans phrases, mais à coups d'extraits précis, au sujet de l'opinion des maîtres de la science. Mais le but principal de cette seconde partie, non rééditée à la Société belge de géologie, est de combattre ma manière de voir, exprimée dès 1890, sur la façon dont doivent être traitées les études de projets d'alimentation d'eau potable. Il n'est pas étonnant que M. Verstraeten ait renoncé à adjoindre cette seconde partie au texte limité qu'il nous présente aujourd'hui. Cette seconde partie est, plus encore que la première, de la pure polémique, roulant non pas sur les choses, mais *sur les mots*, et l'auteur s'y donne beaucoup de mal pour tenter d'affaiblir la portée de l'imposante série d'extraits, que nous avons si aisément fournis à la séance du 12 novembre 1895, à l'appui de la manière de voir que M. Rutot et moi avons défendue en matière d'hydrologie des régions calcaires. Lorsqu'enfin M. Verstraeten termine cette seconde partie par l'examen critique de la thèse dans laquelle j'ai, en 1890, à propos de l'étude du projet du Hoyoux, exposé comment je comprends la *marche rationnelle* de l'étude d'un projet de distribution d'eau, faut-il s'étonner de le voir n'être pas satisfait de mon exposé d'une thèse qui, attribuant au *géologue* un rôle *scientifique* initial, a pour but d'éviter souvent aux intéressés du temps perdu en études préalables, stériles ou mal conduites, et en recherches parfois inutiles. Cette ingérence du géologue n'est évidemment pas précisément faite pour plaire en principe à certains auteurs ou promoteurs de projets : cela est tout naturel, et il eût été quelque peu naïf de prétendre rallier à ces idées — encore si peu appliquées — les techniciens peu ou point géologues. Que de communes cependant prétendent n'appeler le plus souvent la Géologie à leur aide que lorsqu'il faut en réalité venir à leur secours; c'est-à dire lorsque beaucoup de travaux et de dépenses ont déjà été effectués, sans tenir compte des éléments *géologiques*, ou primordiaux, du problème.

Nous avons, M. Rutot et moi, laissé passer stoïquement ce gros mécontentement,

Digitized by Google

pareille étude critique, qu'après la mise au point préalable de la rédaction, faite par l'auteur même, des vues que M. Verstraeten combat actuellement d'après ses « souvenirs » de séances.

2° Le reproche, si immérité, que me faisait naguère M. Flamache d'argumenter parfois *à côté* de la question, serait-il aussi peu justifié, si, le reprenant ici, je l'adressais à M. Verstraeten en ce qui concerne le mode de critique qu'il a employé dans le travail qui précède?

Il est facile de fournir sur cette matière un exemple topique permettant de formuler une première réponse à cette interrogation.

M. Verstraeten nous fait un grief, à M. Rutot et à moi, de n'avoir pas même, dans notre *Étude sur les galeries alimentaires de Liége* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., t. I, 1887, *Mém.*, p. 242), signalé le nom d'*André Dumont, notre illustre* INITIATEUR, dit-il, de la question des eaux de Liége, lequel, en 1851, fit du bassin du Geer « l'une des plus belles études hydrologiques qui soient ». Cette notice d'André Dumont consiste en quelques brèves pages traçant les grandes lignes de la géologie et de l'hydrologie du bassin du Geer (1) et concluant, pour remédier aux besoins d'eaux alimentaires dont souffrait déjà alors la ville de Liége, au creusement d'une *galerie drainante* établie dans la craie et dont l'emplacement, la direction et la hauteur furent déterminés par quatre sondages d'étude que fit creuser la Commission technique dont faisait partie l'illustre *André Dumont*, qui en fut naturellement le principal guide géologique et hydrologique.

C'est d'ailleurs la partie scientifique du rapport, due à *André Dumont*, qui fut reprise par lui dans les Bulletins de 1851 de l'Académie de Belgique, où la critique de M. Verstraeten m'en a fait connaître l'existence.

C'est certainement l'exposé initial d'André Dumont qui a, nul n'en peut disconvenir, inspiré à son neveu, M. l'ingénieur *Gustave Dumont*, *la superbe thèse d'hydrologie pratique* qui fit décider la construction des galeries alimentaires conçues par l'illustre auteur de la carte géologique de la Belgique; mais si la petite note initiale d'André Dumont, perdue,

qui, dans le cas présent, s'est manifesté sous des formes assez vives dans l'exposé publié à Gand par M. Verstraeten. L'avenir est là qui montrera aux communes et administrations intéressées quel est le mode opératoire le plus pratique, le plus rationnel et.. le moins coûteux : celui que j'ai indiqué en 1890, ou celui que préconise mon honorable contradicteur.

(1) *Note sur une application de la Géologie à la recherche d'eaux souterraines*, par ANDRÉ DUMONT. — BULL. ACAD. ROYALE DES SCIENCES DE BELGIQUE, 1re série, t. XVIII, 1851, pp. 47-55.

Digitized by Google

noyée dans les innombrables volumes du *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, où elle fut publiée, nous est toutefois, en 1887, restée, comme à bien d'autres, absolument inconnue, la faute en doit surtout être imputée à son neveu *Gustave Dumont*. En effet, dans son grand mémoire historique et descriptif de 1856, ce dernier, *sans citer ni mentionner* UNE SEULE FOIS le nom de son oncle, reproduit cependant, pages 33 et 34 de son exposé, les parties géologiques essentielles de la note d'*André Dumont*, faisant partie intégrante du rapport de la Commission, mais aussi publiée cinq ans auparavant, au nom de leur auteur : André Dumont, dans le *Bulletin de l'Académie*.

Quant à l'étude hydrologique d'André Dumont, elle est passée sous silence dans l'exposé de son neveu, alors que le premier avait, cependant, avec la conception et la proposition justifiée des galeries drainantes, fourni toute l'économie du système des galeries exécutées.

Dans sa note initale de 1851, André Dumont s'était surtout occupé de ce que devait être la galerie principale, drainante et d'amenée à la fois; il en avait établi le point de départ, la direction, la hauteur et prévoyait l'exécution de galeries drainantes supplémentaires : le tout conformément, dans les grandes lignes, à ce qui fut exécuté plus tard.

De tout cela personne ne pourrait se douter à la lecture du mémoire de *Gustave Dumont* qui, dans son exposé comme dans sa rédaction, donne *l'impression absolue* que toute l'œuvre des galeries alimentaires aurait été conçue par lui (1) et qui ne laisse *pas une seule fois* apparaître le nom de son savant oncle et initiateur *André Dumont*, dans tout le cours de son exposé, pas même dans une note ou référence bibliographique au bas d'une page!

L'auteur responsable du FÂCHEUX OUBLI que nous reproche M. Verstraeten envers *André Dumont* est donc son propre disciple et neveu : *Gustave Dumont*, dont le mémoire nous était seul connu en 1887.

On lit, en effet, dès la première page de notre étude sur les galeries : « Le *seul* travail scientifique publié *à notre connaissance* sur le point qui nous occupe est le beau rapport préalable présenté en 1856 à la ville de Liége par M. l'ingénieur Gustave Dumont, rapport qui élaborait le projet dont l'exécution, décrétée peu de temps après, a valu à l'agglomération liégeoise son alimentation actuelle en eau potable.» Plus loin, dans notre texte, on lit encore : « Ce projet, parfaitement rationnel, a été exécuté tel qu'il avait été exposé par M. *Gustave Dumont*, le savant ingénieur qui l'a CONÇU et développé dans

(1) Voir le texte de Gustave Dumont, p. 40 et surtout p. 46, § 3, § 6; p. 47, etc.

Digitized by Google

un rapport préalable présenté à l'Administration en 1856 et qui traite la question avec tous les détails qu'elle comporte. *C'est de ce rapport remarquable*, intitulé : *Des eaux alimentaires de la ville de Liége* (grand in-8° de 109 pages avec 5 planches, publié chez N. Redouté, à Liége), *que nous avons extrait une partie des renseignements qui précèdent sur l'ancienne alimentation d'eau de la ville de Liége.* »

Si en 1887, en écrivant les lignes qui précèdent, nous avions connu la suggestive note de 1851, d'*André Dumont*, et si nous avions pu constater ainsi que la belle conception du travail appartient à l'*oncle* et non au *neveu*, pour quelle raison, ayant si largement rendu justice au disciple, ne nous serions-nous pas empressés de réparer le fâcheux *oubli* de ce dernier, oubli qui, par un ricochet bien inattendu, nous vaut aujourd'hui l'attaque si peu méritée de M. Verstraeten ?

Sommes-nous les seuls d'ailleurs à avoir été trompés par la manière, peut-être inconsciente, dont Gustave Dumont a laissé dans l'ombre l'important rôle d'initiateur et de précurseur de son savant maître et parent?

Pour le savoir, consultons par exemple le chapitre Ier : *Aperçu historique*, du mémoire récent de M. *L. Brouhon*, ingénieur du Service des eaux (1), à Liége, travail consacré à l'étude d'un projet de puits régulateur à établir en Hesbaye, comme annexe aux galeries drainantes. Or, dans ce travail, approuvé et édité par le Collège échevinal, l'auteur relate soigneusement tout ce qu'il sait avoir été publié au sujet des galeries alimentaires, y compris le mémoire de *Gustave Dumont* et notre étude, à M. Rutot et moi; mais d'*André Dumont*, de son rôle et de sa conception initiale, et enfin de sa Note de l'Académie... pas un mot non plus!

Passons maintenant à l'étranger, par conséquent dans un milieu soustrait à toute influence locale pouvant éventuellement égarer le jugement, et voyons, d'après l'avis d'un éminent hydrologue français, quel est celui qui semblait devoir être regardé comme le véritable promoteur et créateur du système d'alimentation en eau potable qui a donné naissance aux galeries de Liége.

Dans son Rapport présenté, en 1897, à la municipalité de la ville de Nancy, sur des recherches de nouvelles eaux de sources, M. le Dr *Imbeaux*, ingénieur-directeur du Service municipal, dit ceci, page 15 :

Exemple de Liége. — Dès 1851, l'ingénieur des mines GUSTAVE DUMONT *conçut l'idée* de doter la ville de Liége des eaux captées souterrainement sous le plateau de la

(1) *Ville de Liége. Service des eaux. Régime de la distribution. Projet de puits régulateur à établir en Hesbaye*, par *L. Brouhon*, ingénieur du Service des eaux. Liége, in-8°, 142 pages, 2 planches, 1898.

Digitized by Google

Ilesbaye qui la domine au nord. Dans un *remarquable rapport* du 18 février 1856, il *expose au long son projet* et il l'appuie sur une carte hydrographique donnant les courbes de niveau de la surface supérieure de la nappe souterraine. Cette carte démontra ce que la géologie avait fait soupçonner.

De la note d'André Dumont, et de son rôle précurseur, pas un mot... et pour cause : la note initiale d'*André Dumont* de 1851 et le mémoire de *Gustave Dumont* de 1856 ayant paru à M. Imbeaux appartenir *à une seule et même personne : Gustave Dumont !*

Nous sommes décidément, M. Rutot et moi, en trop bonne compagnie dans le camp de ceux qui n'ont pu démêler, faute de référence, dans le mémoire de Gustave Dumont, ce qui revenait réellement à *André Dumont*, et cette constatation nous permettra de ne guère nous émouvoir de la critique si peu justifiée de M. Verstraeten.

Après ceci, il lui sera encore assez difficile à laisser croire que M. Rutot et moi *avons tenté de laisser dans l'ombre* les travaux de nos devanciers, consultés par nous, et cet exemple suffira, je pense, pour montrer la légèreté ou le manque d'à-propos des critiques et reproches qui nous sont faits.

En terminant ce qui a rapport à ce point spécial, il convient d'en tirer une moralité assez piquante et qui, cependant, plane plus haut que la réponse topique qui vient d'être faite aux reproches inconsidérés de M. Verstraeten. Ce dernier avait cru pouvoir adresser à deux géologues, fervents admirateurs d'*André Dumont*, le reproche d'avoir passé sous silence l'origine comme le nom de l'auteur initial de la belle conception des galeries drainantes liégeoises; il les blâmait d'avoir laissé dans l'ombre l'étude de 1851 du célèbre géologue belge, l'auteur « de la plus belle étude hydrologique qui soit ».

En montrant dans les pages qui précèdent à qui incombe réellement la responsabilité du manque de mise en lumière des titres, très réels, d'André Dumont, nous sommes, du même coup, arrivé à cette conclusion, que c'est donc *grâce au précieux concours du* GÉOLOGUE André Dumont que l'INGÉNIEUR Gustave Dumont a été mis à même de fournir les *éléments scientifiques essentiels* de la réalisation ultérieure du beau travail technique de l'établissement des galeries drainantes. Il nous étonnerait fort, à M. Rutot et à moi, que cette constatation soit utilisée par M. Verstraeten pour la défense de sa thèse tendant à écarter la géologie et les géologues de la phase INITIALE *d'élaboration et d'études scientifiques* des projets d'alimentation en eau potable.

3° Lorsqu'on passe ensuite en revue toute l'argumentation critique de M. Verstraeten, on reconnaît bien vite qu'elle est essentiellement

Digitized by Google

construite *en façade*, c'est-à-dire basée sur nos manières différentes d'envisager et d'interpréter certaines *expressions techniques, divers mots*. Aussi, dans une certaine mesure, une pareille constatation ne peut que faire approuver l'un des objectifs de M. Verstraeten qui, parallèlement à la discussion un peu personnelle qu'il soulève, cherche assez consciencieusement, me semble-t-il, à faire naître l'accord sur les mots et sur leur interprétation.

Mais ce n'est pas un exposé scientifique que fait en réalité M. Verstraeten ; c'est bel et bien une plaidoirie d'avocat, jonglant, habilement d'ailleurs, avec ces mots qu'il passe successivement en revue dans son étude critique : couche délitée ; soudure des diaclases et joints ; épanouissement de cavités ; « cavernes » prétendument imaginées dans nos craies ; couches aquifères ; nappes aquifères ; *surfaces* et *volumes* et, tour à tour, MM. E. Dupont, A. Rutot et moi nous passons sous le crible linguistico-technique de M. Verstraeten ! Cela tourne parfois au jeu de mot : ainsi quand, avec les auteurs les plus classiques, M. Rutot et moi employons couramment dans le sens de *couche* ou de *réservoir aquifère* l'expression *nappe aquifère* et que nous attribuons à l'eau de notre « nappe » la propriété de s'écouler souterrainement vers le nord dans les régions considérées, — ce qui est absolument exact, — M. Verstraeten trouve un plaisir non dissimulé de magister à nous apprendre qu'une *nappe*, « qui est une surface, n'a point la propriété de s'écouler » ! Est-ce bien vraiment là de la discussion scientifique et espère-t-il, en n'attaquant que nous, faire croire à ses lecteurs que nous sommes les seuls à employer dans un sens toléré et admis, soit *peut-être* conventionnel, des expressions devenues classiques dans la bouche et sous la plume de tous les géologues ? Que M. Verstraeten ait raison, cependant, de s'élever contre l'incorrection de certains termes très généralement employés, soit, je l'admets, et cette tâche est louable autant qu'utile ; mais est-il bien nécessaire de profiter de ces divergences d'interprétation *dans les mots* pour soulever des critiques *paraissant* nous prendre *personnellement* en défaut sur des points où, en réalité, nous sommes *parfaitement d'accord* avec les usages consacrés par les maîtres de la science ?

Une question préalable s'imposait ici, relevant d'un sentiment de modestie qui n'a guère préoccupé M. Verstraeten. En dehors de sa bonne volonté, qui est évidente, et de son but final qui est louable, se croit-il réellement avoir l'autorité *scientifique* nécessaire pour faire la leçon, avec des allures d'une courtoisie discutable, non à ceux qu'il semble avoir voulu seuls atteindre, mais aux maîtres de la science, tels

Digitized by Google

que les *Daubrée*, les *Gosselet*, les *de Lapparent*, qu'il cingle du même coup de son impitoyable férule? Sa tentative de nous atteindre des bondissements de sa... massue, très éolienne, nous donne la satisfaction, à mon collègue et à moi, de nous trouver assignés devant une barre d'accusation où doivent forcément comparaître, à nos côtés, les hautes autorités scientifiques précitées et bien d'autres encore.

Il ne me suffit pas d'énoncer ce qui précède; je vais le prouver.

Ce qui a surtout et très longuement excité l'ire de M. Verstraeten, c'est l'emploi par nous, dans nos exposés, du mot *nappe* aquifère, pour désigner les *réservoirs* ou les *couches* aquifères. Une grande partie de sa verve caustique s'est, longuement et à de multiples reprises, exercée aux dépens de cette expression ainsi comprise et dont il semblerait, à la manière dont il tente de nous retourner sur le gril, que nous soyons les auteurs responsables, ou les propagateurs irréfléchis !

Je me bornerai à dissiper cette légende par le simple exposé des extraits suivants, destinés à remettre nettement les choses en place : et l'on verra alors de quel côté pourront se ranger les rieurs!

Les noms de *nappe d'eau* et de *niveau d'eau* ont donné souvent lieu à des erreurs. Il ne s'agit pas d'une véritable nappe d'eau, qui serait interposée entre des roches solides, mais d'EAU LOGÉE DANS LES INTERSTICES DE ROCHES SOLIDES, dont elle ne représente qu'*une faible portion du volume total.*

Dans le cas où une telle nappe d'eau imprègne des roches poreuses, telles que les sables et les graviers, elle est en général continue. Il n'en est pas de même quand l'eau n'occupe que des fissures ou des cavités plus ou moins espacées.

Auteur : A. DAUBRÉE, *Les eaux souterraines à l'époque actuelle*, t. I, Paris, 1887. Voir chapitre II : « Régime des eaux dans les terrains perméables », pp. 18-19.

Plus loin, *Daubrée* donne, parmi les nombreux SYNONYMES, *usités à l'étranger*, de l'expression *nappe phréatique*, proposée par lui pour désigner la nappe d'eau la plus rapprochée de la surface du sol et qui alimente la plupart des puits, les noms de « *couche* aquifère libre et *nappe* liquide (VERSTRAETEN) », et il est assez réjouissant de voir ici le savant membre de l'Institut de France, le père de l'hydrologie scientifique moderne, se mettre dans le cas de devoir subir avec nous les foudres vengeresses du trop pointilleux ingénieur belge.

Voici maintenant ce que dit l'expérimenté professeur de géologie de la Faculté des sciences de Lille et membre de l'Institut : M. J. Gosselet,

Digitized by Google

dans la deuxième de ses Leçons sur les nappes aquifères du Nord de la France (1) :

Une *nappe aquifère* est une couche solide, perméable, qui contient de l'eau dans ses interstices. D'une nappe aquifère, il faut considérer la perméabilité de la couche aquifère, le fond de la nappe, ou la couche imperméable qui retient l'eau et enfin l'origine de l'eau.

Il est certain que la pensée de M. Gosselet a été rendue ici d'une manière qui écarte radicalement toute espèce d'assimilation d'une nappe aquifère à une simple surface!

Et, quant au *fond* de cette nappe, comme M. Gosselet appelle avec raison la *base* du *réservoir aquifère,* combien un tel terme doit être peu fait pour plaire à M. Verstraeten qui, naturellement, ne saurait admettre de *fond* à sa nappe-surface!

Continuons nos citations :

Selon que le sol est plus ou moins perméable, il laisse penétrer une quantité plus ou moins grande des eaux atmosphériques qui, ou bien *s'amassent* sous les dépôts de sable et de galets en *nappes souterraines,* ou s'enfoncent pour reparaitre au jour sous forme de sources.

Auteur : CREDNER, *Traité de géologie et de paléontologie,* 7e édition. Traduction, E. Moniez, Paris, 1879, p. 203.

Il est clair que cette accumulation d'eaux, qui s'amassent au sein des dépôts meubles et qui, les baignant, forment les nappes souterraines telles que les entend le professeur Credner, sont bien des *volumes* et non des *surfaces.*

Mais poursuivons l'instructive revue :

Les eaux, en pénétrant dans le sol, finissent par s'y accumuler en donnant naissance à des *nappes d'infiltration.* En effet, à mesure qu'elles s'enfoncent, elles deviennent de moins en moins accessibles à l'évaporation; les *parties de l'écorce situées à une certaine profondeur ne peuvent donc manquer à la longue de se saturer d'eau,* et AINSI se constituent les *nappes souterraines.*

Auteur : A. DE LAPPARENT, *Traité de géologie,* 4e édition, « Phénomènes actuels ». Chapitre III, § I : « Nappes souterraines et sources », p. 195.

Au bas de la même page, M. de Lapparent signale que la *surface supérieure* de la NAPPE est relevée sous les faîtes de partage, et il dit

(1) Voir *Annales de la Société géologique du Nord,* t. XIV, 1886-1887, pp. 249-306. — Voir aussi la reproduction de ces leçons dans le tome II (1888) du *Bulletin de la Société belge de géologie.*

Digitized by Google

aussi que les NAPPES d'infiltration, dans un terrain perméable, ont une surface ondulée, qui reproduit, comme une sorte d'écho affaibli, les accidents extérieurs du sol.

Voici donc les eaux d'infiltration saturant, par leur accumulation, les parties profondes de l'écorce et constituant ainsi les nappes souterraines de M. de Lapparent. Celles-ci sont tellement un *volume* dans la pensée du savant membre de l'Institut, qu'il traite séparément de leur *surface supérieure* pour en décrire l'allure ondulée!

Il en est de même pour M. *Paul Choffat*, le distingué géologue du Service portugais, et l'un des plus fervents adeptes du rôle utilitaire de la géologie appliquée.

Dans sa récente note (1) : *Les eaux souterraines et les sources, principalement en Portugal*, il commence par énoncer comme conséquence de la variété d'allure des dépôts géologiques, une vérité absolue, qui paraît cependant avoir échappé complètement à M. Verstraeten :

Les roches stratifiées se sont déposées en couches superposées plus ou moins horizontales, puis ont été ployées de différentes façons ; parfois elles présentent de grandes brisures (failles) qui interrompent la continuité des couches.

Ces différentes allures entraînent des DIFFÉRENCES CONSIDÉRABLES dans le *régime des eaux souterraines*.

Plus loin, parlant des *nappes* qui imbibent les couches supérieures du sol, il dit :

Ce terme a souvent induit en erreur, en ce sens que l'on s'imagine parfois que les nappes d'eau sont des masses d'eau intercalées entre deux couches de terrains, tandis qu'il ne s'agit que du *remplissage des vides* entre les éléments qui forment le terrain.

Il ajoute :

La *surface inférieure* d'une nappe aquifère dépend naturellement de la forme de la surface de la couche imperméable, et la *surface supérieure* dépend de la composition du terrain.

Cette nappe, qui remplit des vides et qui a deux surfaces : l'une inférieure, l'autre supérieure, est bien un VOLUME, je pense!

Il serait facile de continuer cette revue des définitions des *nappes aquifères* par les maîtres de la géologie, pour montrer que M. Rutot et moi n'avons fait que suivre leur exemple, et que c'est donc bien à tort que notre honorable contradicteur a tenté, *en ne visant que nous*

(1) Extrait du *Zeitschrift für Gewasserkunde*, édité par le Professeur Dr H. Gravelius, de Dresde. Année 1900, fascicule 3, pages 135-152.

Digitized by Google

seuls, de nous présenter, aux yeux de ses lecteurs, comme d'audacieux ou maladroits novateurs en matière de terminologie hydrologique.

Faisons maintenant une petite incursion dans les travaux des ingénieurs et des hydrologues professionnels.

Dans ses *Études hydrologiques et géologiques*, consacrées au bassin de la Meuse (1), publiées en 1891, M. l'ingénieur *J.-A. Pierrot* dit, pages 58-59 :

Les eaux absorbées par les terrains perméables descendent dans le sol et finissent par rencontrer une couche de terrain imperméable; elles s'*accumulent* et forment une *nappe aquifère* souterraine...

La nappe aquifère, en augmentant d'*épaisseur*, finit par atteindre le fond des vallées et par donner naissance à de nombreuses sources.

Lorsque le *volume* d'eau qui pénètre dans le terrain perméable est plus grand que le débit des sources, ce qui arrive aux périodes pluvieuses, la hauteur de la nappe aquifère augmente et les points d'émergence des sources remontent le long du thalweg.

Si, au contraire, le débit des sources dépasse le volume d'eau amené par infiltration, la *nappe aquifère diminue d'épaisseur*, etc.

Je me contente, pour tout commentaire, de souligner simplement, dans ces extraits, les mots démontrant qu'aux yeux de M. l'ingénieur Pierrot, les nappes aquifères sont bien des *volumes* et non des *surfaces*. A la surface d'une nappe, le même auteur réserve d'ailleurs le nom de *niveau d'eau*.

Dans son superbe mémoire : *Les eaux potables et leur rôle hygiénique dans le Département de Meurthe-et-Moselle*, M. le Dr Ed. Imbeaux (2), ingénieur des Ponts et Chaussées, qui a la haute direction du Service municipal de Nancy, expose comme suit (page 5 de son chapitre I : Origine des eaux potables. Mode de formation des nappes et des sources) comment se constitue une nappe aquifère :

La portion de la pluie qui s'infiltre dans le sol, après avoir imbibé d'abord la couche de terre arable, descend peu à peu au travers des étages géologiques assez poreux pour la laisser passer, jusqu'à ce que, rencontrant une couche compacte et imperméable, *cette eau se collecte au-dessus d'elle et forme une réserve souterraine dans les pores* du terrain perméable immédiatement sus-jacent.

Dans une note sur les serrements et leur fonctionnement, publiée,

(1) *Bassin de la Meuse. Études hydrologiques et géologiques et considérations diverses relatives à la formation et à l'annonce des crues et à l'utilisation des eaux du bassin*, par J.-A. Pierrot, ingénieur des Ponts et Chaussées. Gand, Ad. Hoste, 1891, un volume in-8°, 160 pages, 7 planches et cartes.

(2) Un volume grand in-8° de 227 pages de texte accompagné d'un atlas in-4°, de 9 tableaux et de 12 planches, publié à Nancy, en 1897.

Digitized by Google

en 1897, par M. l'ingénieur des mines *Villain*, comme annexe au Rapport de M. Imbeaux sur un avant-projet de captation souterraine de la forêt de Haye (1), nous trouvons encore cette autre définition de la *nappe* (voir page 45 du Rapport Imbeaux : Note de M. Villain) :

Une nappe souterraine est produite par l'*accumulation*, au-dessus d'une assise imperméable, des eaux d'infiltration de la surface. Les sources sont les trop-pleins des nappes.

Page 46 : Toute la portion des eaux contenue dans la nappe minima (la nappe d'étiage) constitue, d'après ce qui précède, une *réserve* sur laquelle on peut compter en tout temps.

Page 17 : L'exécution d'une galerie *dans le sein* de la nappe détermine, évidemment, un trouble profond dans la circulation souterraine...

... Examinons d'abord ce qui se passe quand *on creuse une galerie* dans l'*intérieur* d'une nappe...

Page 49 : La galerie complètement *immergée dans la nappe* primitive ainsi reconstituée.

Faut-il demander, après ces divers extraits, si, pour M. Villain comme pour M. Imbeaux, la nappe est un *volume* ou une *surface?*

Dans les magistrales leçons d'Hydraulique agricole et de Génie rural, professées à l'École des Ponts et Chaussées de France par feu M. *A. Durand-Claye* et rédigées par M. *Félix Launay*, également ingénieur des Ponts et Chaussées (2), on lit, dans le chapitre III : Infiltration et ruissellement, que les nappes aquifères caractérisent surtout les terrains perméables, et l'auteur ajoute (page 279) que

des terrains peuvent être perméables de deux manières distinctes : où bien ils sont homogènes et perméables dans toute leur masse, comme les terrains sableux et caillouteux, et alors *la nappe* s'étend sans interruption *à travers la masse du terrain* au-dessus des couches imperméables, elle est dite *continue;* ou bien ils sont fissurés, coupés de crevasses irrégulières, comme les terrains calcaires : craie, calcaire grossier, calcaire oolithique, et alors l'eau se divise en filets distincts, *coulant* dans les failles, les fissures et les lits de stratification; la nappe est *discontinue et irrégulière.*

Parmi les volumes le plus récemment parus de l'*Encyclopédie scientifique des Aides-mémoire* (section de l'ingénieur), publiée à Paris, sous la direction de M. Léauté, de l'Institut, on peut citer enfin le très intéressant volume consacré par M. *Henri Boursault* à la *Recherche des eaux potables et industrielles.*

(1) *Ville de Nancy Recherches de nouvelles eaux de source. Avant-projet de captation des eaux souterraines de la Forêt de Haye.* Rapport de M. *Imbeaux*, ingénieur-directeur du Service municipal. Nancy, 1897, in-8°, 51 pages, 7 planches et 1 carte.

(2) *Hydraulique agricole et génie rural.* Leçons professées à l'école des Ponts et Chaussées, par A. DURAND-CLAYE ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et rédigées par *Félix Launay*, ingénieur des Ponts et Chaussées. Tome Ier. Paris, Oct. Doin, 1890.

Digitized by Google

Dans son chapitre II : Eaux souterraines, etc., l'auteur dit, page 37 :

Envisageons ce qui se passe dans les parties libres d'un terrain perméable. Soit (et l'auteur renvoie ici à sa figure 1) un ensemble perméable au-dessus d'une couche imperméable. L'eau d'infiltration descend librement et remplit à la base toutes les cavités du terrain, au-dessus de cette couche; elle s'élève tant que l'alimentation continue et que les points d'écoulement que représentent les sources ne sont pas atteints dans les vallées; elle dépasse ensuite ces niveaux, etc... Il existe ainsi un certain niveau au-dessous duquel il n'y a plus, dans la zone perméable, une seule fissure ou cavité, grande ou petite, qui ne soit remplie d'eau... *L'ensemble de la masse d'eau* comprise dans ces limites constitue une *nappe*, et la surface plus ou moins régulière passant par les points supérieurs atteints par l'eau dans toutes les cavités, est la *surface hydrostatique* de la nappe... Cette définition générale des *nappes* doit s'appliquer à toutes *les masses d'eau* circulant dans un ensemble de cavités souterraines ayant entre elles des communications constantes.

Voici donc le plus récent manuel classique, devant servir de guide et d'aide-mémoire aux *ingénieurs*, qui leur enseigne nettement, en conformité d'avis avec les éminents géologues et hydrologues tantôt passés en revue, qu'il faut continuer à utiliser le mot nappe, « CLASSIQUE *pour les eaux souterraines* », dit l'auteur, bien que ce mot ne pourrait, *strictement*, s'appliquer qu'aux masses liquides superficielles, ou à celles circulant dans les canaux à large section. Mais à cette expression de nappe, l'auteur, comme *tout le monde*, — M. Verstraeten excepté, — attribue l'idée rationnelle de *volume* et non celle de *surface* (1).

Je pourrais continuer longtemps ainsi et passer en revue de multiples travaux dus à d'éminents ingénieurs et hydrologues, étrangers et belges, tels que M. *Léon Janet*, de l'École des mines de Paris; M. le professeur *C. Blas*, de l'Université de Louvain, et bien d'autres, dont les conceptions de la nappe aquifère sont toutes en relation avec l'accumula-

(1) Il est un point sur lequel M. *H. Boursault* se sépare de l'avis exprimé par M. *Daubrée* et défendu aussi par *Martel*, et je ne puis que me ranger à l'avis de l'auteur. C'est que le mot *nappe* doit pouvoir rester appliqué aussi bien aux masses liquides remplissant les fentes, diaclases et canaux des *roches fissurées* qu'aux masses liquides imprégnant uniformément la masse perméable des *dépôts meubles*. La question de différence d'état : statique ou dynamique, de ces deux types de réservoirs aquifères est loin, comme paraît l'admettre M. Martel, de constituer un facteur différentiel *constant* et *absolu*. Dans certains cas, comme celui de la région *inférieure* des réservoirs calcaires de bassins en fuseaux ou en cuvette, isolés et enchâssés de toutes parts dans un massif rocheux imperméable (schisteux par exemple), aucun écoulement n'est plus possible sous le niveau des thalwegs. Ce sont alors de véritables nappes, ou plutôt des *masses* ou *réservoirs aquifères*, sans mouvement circulatoire sensible, qui remplissent *le fond* de ces bassins. De plus, comme le fait justement remarquer M. Boursault, en matière de terrains fissurés, on passe graduellement des canaux microscopiques aux plus larges fractures, et la distinction devient souvent difficile.

Digitized by Google

tion, le *volume* des eaux souterraines, et non avec le niveau de leur surface libre ou piézométrique.

Mais voici le bouquet qui viendra clôturer nos citations :

Nous n'avons pas même à nous défendre, en réalité, M. Rutot et moi, dans l'usage courant que nous faisons, à l'exemple des éminents géologues, ingénieurs et hydrologues précités, de l'emploi du mot *nappe aquifère*, pris dans le sens de *volume d'eau*, car TEL est bien aussi le sens donné à l'*usage vulgaire* des expressions : *nappe d'eau*, *nappe aquifère* par les hommes de lettres eux-mêmes.

Consultons en effet la petite édition du Dictionnaire de *Littré*, par *Beaujean*, livre qui est appelé à servir de *guide courant* à tout le monde. Nous y voyons, page 42 : Nappe = *Masse* d'eau étendue sous des couches de terrains plus ou moins épaisses. Précisons maintenant, à l'aide du *Grand Dictionnaire de Littré*, destiné à fixer le détail des choses. Nous y trouvons, page 688, les deux acceptions également admises : après *Nappe d'eau*, = le niveau général des eaux d'un canton, nous lisons : *Nappe* se dit aussi de la *masse d'eau* étendue sous des couches de terrains plus ou moins épaisses, et à laquelle on donne issue par des puits artésiens ou autres.

Nous pouvons, après ceci, tirer l'échelle; mais il ne sera pas sans intérêt de rechercher de qui M. Verstraeten aurait bien pu s'inspirer quand il est tombé à bras raccourcis sur cette expression de *nappe aquifère* prise dans le sens de *réservoir* ou de *couche aquifère*, si généralement adopté par les géologues. Et alors on arrive bientôt à se rappeler les réflexions émises par M. *E.-A. Martel* qui, dans le chapitre XXX, intitulé : Les eaux souterraines, de son beau livre : *Les Abîmes*, dit, page 533, que le terme *niveau d'eau* est très satisfaisant, mais que celui de *nappe* ne l'est pas, prêtant à une équivoque qui, d'ailleurs, dit-il (note 3 de la page 533), n'a guère réellement existé que dans la première moitié du siècle. Après avoir donné cependant deux exemples de ces inconvénients, fournis par des phrases de Belgrand, M. Martel dit : « Hâtons-nous d'ajouter que cet usage un peu trop général du mot *nappe* n'empêche nullement les géologues qui l'emploient de croire à l'existence de vrais courants dans les terrains fissurés.

Que veut dire ceci? C'est que, d'après M. Martel, le mot nappe n'est nullement condamnable parce qu'il s'applique à un volume, au lieu d'indiquer uniquement, comme le voudrait M. Verstraeten, la surface supérieure de ce volume d'eau. Il ne l'est que parce que M. Martel voudrait voir appliquer exclusivement le mot nappe aux eaux dites continues ou d'imprégnation générale et non en mouvement rapide,

Digitized by Google

qui imbibent les dépôts meubles, ou terrains de transport, tandis que le savant spéléologue voudrait voir affecter une autre expression aux eaux, plus nettement discontinues et localisées, qui constituent les réservoirs aquifères, animés de mouvements d'écoulement généralement plus rapides, qui alimentent les sources des massifs rocheux, perméables seulement par leurs fentes.

Mais c'est là une distinction absolument repoussée à son tour par M. Verstraeten, qui cherche, bien inutilement d'ailleurs, à unifier systématiquement le régime hydrologique, si rarement assimilable, de ces deux types de terrains et de réservoirs aquifères.

En définitive, dit M. Martel (*loc. cit.*, p. 535), sans bannir le terme *nappe*, il importe de ne pas le généraliser et de lui substituer, en théorie, celui de *niveau d'eau*. En définitive aussi, pouvons-nous ajouter, si un hydrologiste et spéléologue de l'expérience et de la haute compétence de M. Martel a trouvé avec raison, et bien avant M. Verstraeten, l'emploi du mot *nappe* peu recommandable, ce n'est nullement pour les raisons de pure forme et toutes conventionnelles qui, en matière hydrologique, doivent nous y faire voir un *volume* plutôt qu'une *surface*, mais pour une raison de *différenciation d'état statique ou dynamique de l'eau*. Enfin, M. Martel a loyalement reconnu que, malgré les acceptions diverses données au mot *nappe*, les géologues savent parfaitement apprécier *dans quel sens* il se trouve employé;..... ce qu'il fallait démontrer!

Ce qui découle encore des éléments d'appréciation qui précèdent, c'est que M. Verstraeten n'était nullement au courant d'une situation dont il lui a plu de nous rendre responsables, M. Rutot et moi, n'y trouvant qu'une occasion de remplacer, par ses peu recommandables procédés de discussion, les arguments vraiment scientifiques QUI LUI MANQUENT contre deux géologues qui, à ses yeux, ont eu l'audace grande de mettre trop vivement en lumière le rôle prépondérant de la *géologie* en matière de base scientifique de l'*hydrologie appliquée*.

Nous venons de montrer, par des citations topiques, ce que valent ces querelles de mots, si opiniâtrément dirigées contre nous. Voyons maintenant si, dans l'étude des questions de fond, M. Verstraeten a été plus heureux.

Il ne l'a assurément pas été dans la série des quinze questions, plutôt étranges, dont l'auteur fait suivre l'exposé, qu'il montre n'avoir *aucunement compris*, de ce qu'il appelle notre *conception hydrologique nouvelle*. Je veux parler des quelques lignes que M. Rutot et moi avons, dans la séance du 12 novembre 1895, consacrées au régime aquifère et à son « dispositif circulatoire localisé », dans les massifs calcaires.

Digitized by Google

La preuve que M. Verstraeten n'a pas du tout saisi le sens de ce qu'il s'efforce de démolir, c'est sa figure 7, qui a la prétention de vouloir représenter schématiquement le régime hydrologique des calcaires en fond de bateau du type du Bocq et du Hoyoux, selon notre argumentation à M. Rutot et à moi! Cette figure étrange n'a aucun rapport, je m'empresse de le déclarer ici, avec la réalité des faits, non plus qu'avec la synthèse graphique *rationnelle* de notre exposé du 12 novembre, présenté par M. Verstraeten comme une « conception hydrologique nouvelle », alors qu'elle rend simplement compte de ce qui existe dans la nature. Point n'est difficile, dans ces conditions, de laisser croire au lecteur bénévole ou incompétent que nos vues sont erronées, et, je le répète, nous sortons ici du domaine et des procédés ordinaires de la discussion scientifique.

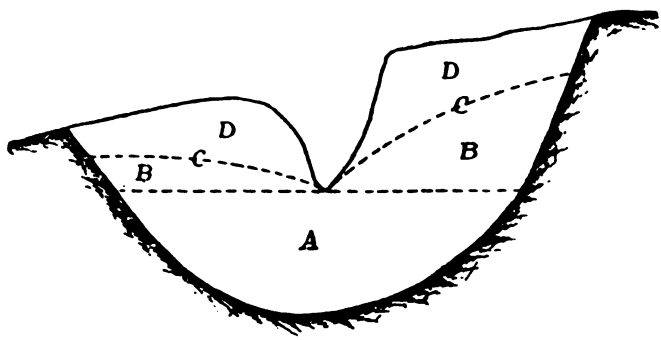


Fig. 1 — Reproduction de la figure 8 de la Note de M. Verstraeten.

Si, en ce qui concerne la représentation schématique du système aquifère des calcaires *en fond de bateau* de la région du Bocq et du Hoyoux, M. Verstraeten, au lieu de s'évertuer à construire la charade graphique représentée par sa figure 7 et par son étonnante légende, avait lu attentivement, et sans parti pris surtout, ce qu'il appelle « notre conception hydrologique nouvelle », il aurait pu s'assurer qu'il ne fallait guère de modification et seulement une légère *ajoute* aux éléments de sa figure 8, que nous reproduisons ci-dessus, pour donner le schéma exact de notre « conception ». Dans la figure ici reproduite d'après M. Verstraeten, toute la partie A et BB, CC — celle-ci un peu trop remontante peut-être sur les flancs de la cuvette imperméable quartzo-schisteuse limitant le bassin calcaire — représente la masse rocheuse plus ou moins fissurée, baignée par les eaux du *réservoir aquifère*, dont la partie sous-jacente au thalweg, coïncidant avec la ligne pointillée horizontale de sa figure 8, constitue ce que nous appelions — avec une légère

Digitized by Google

licence grammaticale si l'on veut — le *régime statique*, sous-jacent à celui, DD, des eaux en mouvement, que nous avons distingué plus haut dans le massif.

Quant à la partie BB du réservoir aquifère, comprise entre la ligne horizontale, ou du thalweg, et la ligne de niveau aquifère variable CC et qui constitue ce que nous appelions le *trop-plein* du niveau statique inférieur, elle oscille, tout comme oscille la partie supérieure des réservoirs aquifères en terrains meubles.

Ce phénomène s'effectue ici sous la double influence du *soutirement* causé par les sources d'aval de la région du thalweg considéré et de l'*apport variable et irrégulier* : 1° des *chutes pluviales* tombant sur la cuvette calcaire, ainsi que des *condensations atmosphériques*, dont le rôle nourricier aquifère au sein de la terre reste à étudier; 2° du *ruissellement* amené par le sol imperméable des collines et hauteurs quartzo-schisteuses bordant d'un bourrelet *continu* les dites cuvettes; 3° parfois de l'*apport circulatoire souterrain* qui peut, régionalement, résulter du facteur de « l'empiétement des calcaires » réunissant sous terre les eaux de bassins superficiels distincts; 4° de la mise en jeu temporaire, pendant les périodes pluvieuses ou de fonte des neiges, de l'appareil du *régime circulatoire localisé*. Celui-ci, dans la figure ci-dessus, serait représenté, en DD, par le réseau, tour à tour à sec ou en fonctionnement, des veines liquides descendant de la surface et des plateaux de la cuvette, tout le long des joints et des lithoclases divisant le massif calcaire.

Les orifices supérieurs des conduites de ce régime circulatoire localisé sont constitués par les fentes non bouchées de la zone délitée du calcaire, par les aiguigeois de plateau, par les grandes diaclases, failles et fractures, susceptibles de recevoir, d'engouffrer et de conduire *localement* les eaux, qui y circulent seulement à certains moments. Les orifices inférieurs de ce régime circulatoire localisé se déversent, soit directement à la surface CC du réservoir BB, soit à la surface du sol dans le creux du vallon calcaire. Ces apports localisés du régime supérieur ou bien grossissent les sources ordinaires alimentées par BB *et les troublent souvent alors dans leur limpidité, en* POUVANT *les altérer dans leurs qualités*, ou bien en font naître d'autres, qui apparaissent alors, comme *sources temporaires*, comme suintements ou infiltrations diverses.

Dans la zone statique inférieure A, comme dans sa partie supérieure de BB à CC, ou de fluctuation saisonnière ou périodique, ce que nous appelions le trop-plein du niveau statique inférieur, *toutes* les cavités, fentes, etc., du réseau circulatoire, sous-jacentes au niveau CC, sont *constamment* remplies d'eau; dans la partie D par contraste, *certains* conduits d'élection sont *seuls* choisis et utilisés par les eaux de ruissel-

Digitized by Google

lement et d'infiltration, et ce n'est que *temporairement* que la plupart de ces conduits localisés *deviennent* aquifères : en temps de fonte des neiges, d'orages, de pluie torrentielle, etc.

Tel est aussi le motif qui nous a fait, à M. Rutot et à moi, adopter, pour représenter l'ensemble des canaux, fentes, conduits et lithoclases de la zone calcaire supérieure DD, l'expression de *régime circulatoire localisé*. Nous eussions pu l'appeler aussi bien *régime circulatoire temporaire*. Si nous ne l'avons pas fait, c'est parce qu'il est incontestable que *certains* de ces conduits localisés de la région DD peuvent *en tous temps* amener des eaux, soit provenant par exemple de l'engouffrement d'un ruisseau permanent dans un aiguigeois de plateau, soit provenant de la décharge du niveau aquifère souterrain d'un lointain massif calcaire ayant trouvé à se déverser dans le bassin considéré, et cela par la voie de ces communications à grande distance qui sont si fréquentes dans les roches calcaires et qui donnent souvent naissance aux sources dites « vauclusiennes ».

Tel est le développement rationnel de l'exposé de *douze lignes* que M. Rutot et moi avons fait le 12 novembre 1895 sous forme de ce que M. Verstraeten appelle notre *conception hydrologique nouvelle*. En réalité, cette prétendue conception inédite s'adapte fort nettement, on le voit, au diagramme dit « rectificatif » de la figure 8, reproduite ci-dessus, de notre contradicteur, et n'a aucun rapport avec les bizarres tracés et la pittoresque et incompréhensible légende, dont M. Verstraeten, dans sa figure 7, veut nous infliger la conception.

Ce qui *manque* en réalité dans la région D du croquis schématique de M. Verstraeten, c'est la figuration de cas, souvent fort multiples, qui se trouvent représentés par un exemple dans le croquis ci-après de M. le professeur *X. Stainier* (1), croquis qui lui sert à exposer une autre donnée : celle du remplissage graduel, à l'époque actuelle, des canaux et fissures qui donnent passage aux eaux courantes superficielles en région calcaire et les décantent mécaniquement pour les amener, plus ou moins clarifiées, aux sources du bas des vallées rocheuses calcaires.

Voici cette figure, dans laquelle les hauteurs en collines CC bordant des bassins calcaires BA AB sont constituées, comme c'est si généralement le cas en Belgique, par du terrain quartzo-schisteux : schistes et psammites, peu ou point perméables, enchâssant de toutes parts le massif calcaire de la région centrale considérée. Les joints de dispa-

(1) X. Stainier, *De la formation des cavernes*. (Bull. Soc. belge de géologie, t. XI, 1897. *Mém.* pp. 251-272.)

Digitized by Google

rition et d'engouffrement d'eaux superficielles, qui se présentent très généralement sous forme d'aiguigeois, sont localisés presque toujours aux lignes de contact BB des deux formations. Ce sont là les amorces extérieures, les orifices supérieurs des canaux aquifères, soit constants, soit temporaires (représentés en noir accentué sur la figure), du *réseau circulatoire localisé* fournissant ou alimentant soit une partie des sources du thalweg, soit les niveaux supérieurs de déversement aquifère dans la vallée, et c'est l'adjonction de ce dispositif, *si curieusement méconnu par M. Verstraeten,* qui complète, dans le cas considéré des bassins du Hoyoux, du Bocq, etc., le régime aquifère de ces massifs calcaires.

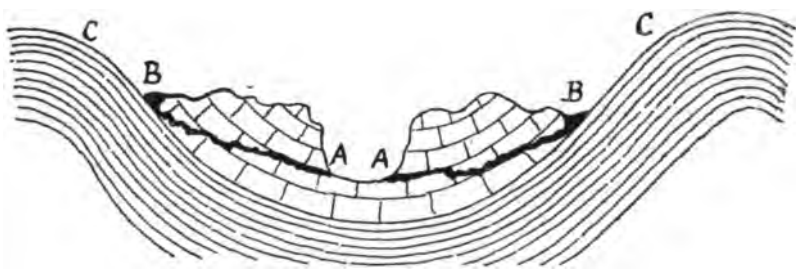


FIG. 2. — Reproduction d'une figure de M. *X. Stainier* (1).

J'espère que notre honorable contradicteur comprendra enfin pourquoi sont si peu justifiées les quinze dernières questions qu'il aligne à la suite de sa non-compréhension de notre « *conception hydrologique nouvelle* ». Il a pu voir maintenant que celle-ci n'est en réalité que la *mise au point, complétée, réelle et conforme aux données fournies par l'observation de la nature,* de son interprétation à lui, synthétisée par sa figure 8, ici reproduite page 396.

Un point accessoire cependant pourrait peut-être réclamer une certaine rectification de notre part. C'est qu'il n'est pas toujours exact, en effet — sauf en ce qui concerne les déversements supérieurs, quand il y en a — de dire comme nous l'avons fait, que les sources des vallées calcaires sont *plus généralement* en rapport avec les eaux supérieures du régime circulatoire localisé DD qu'avec celles du trop-plein BB, du régime statique sous-jacent au thalweg.

(1) Cette figure ne comprend pas d'équivalent à la *zone aquifère inférieure statique* A représentée dans la figure 1; il suffit, pour s'opposer à la formation de cette zone A, d'un certain degré de compacité et du manque de fissuration, en profondeur, du massif calcaire, lequel alors voit son régime aquifère borné au seul *réseau circulatoire localisé* BA AB, que représente la figure ci-dessus. C'est d'ailleurs le cas *le plus universellement répandu,* quoi qu'en puisse dire M. Verstraeten.

Digitized by Google

Nous l'entendions surtout ainsi parce que l'absence de véritable état statique de la zone BB (fig. 1), qui alimente la grande majorité des sources, nous portait à rattacher, dans une certaine mesure, cette zone de trop-plein BB au système circulatoire supérieur. Et, en fait, il en devient bien ainsi, dans les niveaux supérieurs asséchés de BB, en saison ou en période d'étiage souterrain. Nous reconnaissons toutefois préférable de n'englober dans notre système circulatoire localisé que les seuls canaux aquifères, généralement intermittents, de la zone DD, et qui ne produisent souvent que des sources *temporaires*. S'ils donnent parfois lieu, dans des cas déterminés (fig. 2), à quelques sources *permanentes*, nous avons toujours été d'accord, avec M. Verstraeten, sur ce fait que bien des sources doivent être alimentées, dans le cas de ces types de bassins calcaires isolés, par la partie oscillante BB du réservoir aquifère, soit par ce que nous appelions le « trop-plein du niveau statique inférieur ».

C'est d'ailleurs précisément aussi ce que disait, en novembre 1895, l'exposé de notre « conception hydrologique nouvelle » qui se terminait par ces mots : « Bien entendu, le trop-plein de ce niveau statique inférieur peut cependant alimenter les sources dans le fond des vallées. »

N'est-il pas plaisant autant que suggestif de constater sur quelles pointes d'aiguilles M. Verstraeten se plaît à équilibrer ses critiques? Et avec de tels points de départ, à quelles grosses conséquences n'arrive-t-il pas cependant?

Déjà l'on savait qu'avec deux lignes de l'écriture d'un homme on arrivait naguère à le faire pendre. M. Verstraeten voudrait bien perpétuer ces traditions sous une autre forme. S'emparant de *douze lignes* dans lesquelles deux géologues ont sommairement exposé des vues scientifiques très normales, il les désagrège en matériaux lui servant à construire un édifice qu'il appelle pompeusement « *l'exposé de leur conception hydrologique nouvelle* », édifice sous les ruines duquel il comptait bien écraser ses victimes si, préalablement, ne s'étaient écroulées sur lui-même les fragiles hypothèses édifiées par lui dans les quatre pages fantaisistes de son texte consacrées à cet objet.

On le voit, qu'il s'agisse de questions de *forme*, c'est-à-dire de *mots* ou de questions de *fond*, c'est-à-dire de *thèse scientifique*, le PROCÉDÉ de critique reste le même, et il ne me déplaît pas de le mettre une bonne fois nettement en lumière.

Mais soyons généreux et, laissant de côté ces polémiques stériles autant qu'encombrantes, bornons-nous à dire que ce qui rend l'effort

Digitized by Google

de M. Verstraeten méritoire, malgré le moyen employé, c'est qu'il est assurément préférable que tout le monde soit d'accord sur les termes techniques à employer et sur la signification précise à leur donner. Il y a lieu de reconnaître aussi que certains *termes* d'hydrologie employés par les géologues, en général, de même que par d'autres hommes de science, manquent peut-être de correction si l'on s'en tient, non à un sens connu et très généralement adopté par eux, mais *au sens strict des mots,* et certainement nous ne serons pas les derniers à accepter une terminologie correcte et rationnelle. Mais avant de rien adopter, il conviendrait d'entendre encore d'autres arbitres que notre honorable contradicteur, puisque les savants spécialistes cités tantôt sont loin de penser sur ces définitions et sur ces points de terminologie comme M. Verstraeten; et qui alors a raison?

Ce qui est certain aussi, c'est que dans l'état actuel de la question, il n'y avait nullement lieu de tenter de rendre victimes de ces pures querelles de mots, des collègues qui ont suivi simplement l'usage des maîtres de la science et qui, nonobstant l'emploi de termes plus ou moins contestables dans leur signification conventionnelle, mais universellement reçue, ont l'habitude de se faire comprendre de tout le monde.

Au point de vue du fond, il est un élément sur lequel je reste nettement en désaccord avec M. Verstraeten; point qu'il a exposé dans sa communication orale du 11 mai 1897, beaucoup plus longuement et plus explicitement que dans sa rédaction d'aujourd'hui, destinée au procès-verbal de ladite séance. J'avais naguère expliqué, par le principe justifié des *empiétements* de bassins hydrographiques *souterrains* dans les régions calcaires, les débits parfois énormes signalés pour certaines sources dont la production paraissait devoir dépasser notablement ce que pouvaient faire prévoir les dimensions du bassin hydrographique *superficiel*. M. Verstraeten nous déclare que les affirmations émises au sujet de ces débits extraordinaires, par une ancienne Commission technique, sont controuvées, et il en tire comme conséquence l'inanité de ma thèse sur le rôle important de l'*empiétement des bassins souterrains* relativement aux débits de certaines sources, calculés d'après les dimensions du bassin hydrographique superficiel, dans lesdites régions calcaires. M. Verstraeten, dans sa communication orale du 11 mai 1897, renouvelant ce qu'il nous avait déjà dit en avril et en décembre 1894, a tenté de montrer que s'il y a parfois un peu d'empiétement souterrain, il y a des compensations réciproques; ce qui est loin

Digitized by Google

d'être toujours le cas. Il a encore ajouté que de pareils faits d'empiétement se constatent *aussi* dans la région des dépôts meubles et perméables de la moyenne et de la basse Belgique.

Tout cela a déjà été relevé par moi à notre séance du 11 décembre 1894 (1) et à la réponse qu'a cru pouvoir faire à mon argumentation M. Verstraeten, j'ai opposé des raisons de *fait*, aisément contrôlables et qui ont montré combien se justifie, au moins pour le cas considéré, ma thèse de l'empiétement des réservoirs souterrains calcaires.

Or, je persiste à déclarer, et j'y reviendrai quelque jour avec détails et preuves à l'appui, que ces empiétements aquifères souterrains *doivent* être *très fréquents* et d'importance *parfois considérable*, surtout dans des régions calcaires qui, comme dans l'Entre-Sambre-et-Meuse et le Condroz, sont constituées par *de longs et étroits bassins calcaires* à substratum schisteux imperméable, traversant *souterrainement* des régions appartenant superficiellement à des bassins hydrographiques différents. Si de tels empiétements existent aussi dans nos régions à dépôts meubles, ils n'y ont guère d'effet *sur le débit des sources extérieures* (2), alors que dans nos régions calcaires les sources peuvent, au contraire, être parfois *fortement influencées* par ces phénomènes de communication aqueuse souterraine à grande distance.

Si, dans le cas particulier rappelé par M. Verstraeten, l'afflux des sources jugées comme peu en rapport avec les ressources du bassin hydrographique superficiel a été indiqué comme plus élevé qu'il n'est réellement, il n'y a là — comme je le disais à ce sujet dans ma note du 11 décembre 1894 — qu'une correction de *chiffres* et non de *principe* à faire à ma précédente communication. Il ne me sera pas difficile, j'en ai la ferme confiance, d'être à même, quelque jour, de démontrer que le principe de l'empiétement aquifère et circulatoire souterrain peut acquérir, dans les régions calcaires, une *importance pratique* considérable, et peut servir à expliquer, en matière de *venue d'eau dans les mines*, comme dans le *débit de certaines sources*, bien des phénomènes que ne pourrait faire comprendre aucun autre facteur de la géologie ou de l'hydrologie de ces régions, dont certainement la structure géologique et le dispositif aquifère et circulatoire paraissent bien loin — témoin ses diverses figures schématiques — d'avoir été nettement compris et exactement interprétés par mon honorable contradicteur.

(1) E. Van den Broeck, *Quelques mots au sujet de la différence d'étendue des bassins hydrographiques souterrain et superficiel alimentant les sources de la vallée du Hoyoux.* (Bull. Soc. belge de Géol. etc., t. VIII, 1894, Pr.-Verb., pp. 241-247.)

(2) Par opposition à leur action sur le débit des « sources » internes, soit des puits artésiens et autres, de la moyenne et de la basse Belgique.

Digitized by Google

NOTES SUR LE RÉGIME AQUIFÈRE DES TERRAINS CALCAIRES.

ANNEXE A MA RÉPONSE A M. VERSTRAETEN.

En rédigeant rapidement une première version de ma réponse à M. Verstraeten, je n'avais pas cru, pressé par les nécessités d'une impression ayant dû suivre de près le dépôt du manuscrit de mon honorable contradicteur, pouvoir rencontrer bien des points qui réclamaient cependant quelque élucidation, autant dans l'intérêt de ces débats que dans celui de la science et de la vérité.

Je me suis cependant décidé à le faire, mon texte amplifié ayant passé aux *Mémoires*. Toutefois, ces observations détaillées sont ici fournies simplement sous forme d'annexe à la Note précédente.

Dans cette revue rapide, on aura, outre l'occasion d'apprécier le mode de polémique employé, l'avantage de trouver, j'espère, un certain nombre de données scientifiques sur lesquelles la discussion engagée permettra de faire une lumière profitable à tous. Cet exposé montrera en même temps, conjointement avec la Note ci-dessus, combien les critiques et attaques de M. Verstraeten sont *peu justifiées*.

Je diviserai cet exposé en quatre parties : la première consacrée à l'hydrologie des terrains rocheux calcaires; la deuxième à l'hydrologie de la craie. Ces deux chapitres compléteront ma réponse au travail inséré dans notre *Bulletin*.

Dans un troisième chapitre, je montrerai combien M. Verstraeten a eu tort de vouloir opposer certains massifs calcaires *belges* à l'avis des « maîtres de la Science » sur le régime aquifère des calcaires, et un chapitre final sera consacré à la mise au point du rôle de la *géologie*, et par conséquent de celui du *géologue*, dans l'élaboration scientifique de projets de recherches d'eaux alimentaires. Ces deux derniers chapitres répondent plus particulièrement à la *deuxième partie* de l'étude de M. Verstraeten, publiée dans le recueil gantois mentionné précédemment.

Hydrologie des terrains rocheux calcaires.

Page 94, § 5 de son étude (1), M. Verstraeten dit, en me visant :

Mais notre collègue n'a pas contredit M. Dupont, qui déclare que le délitement pénètre jusque 10 mètres et plus dans les schistes, et qu'il s'arrête à 1 mètre environ dans nos calcaires résistants du Hoyoux, du Bocq et de Han-Rochefort.

(1) *Bulletin de la Société belge de Géologie*, t. XI, 1897, Procès-Verbaux pp 93 et suiv.

Digitized by Google

Et là-dessus M. Verstraeten part en guerre, comme si *personnellement* j'avais défendu ou adopté cette thèse que le délitement dans les schistes serait, comme il dit, en se basant sur ce qu'a signalé M. Dupont, « *d'une manière générale* dix fois plus profond que dans nos calcaires ».

A cela je répondrai que s'il prenait fantaisie à des adversaires de me combattre au sujet de toutes les énonciations scientifiques faites par d'autres, ou bien de m'en attribuer la responsabilité, parce que je ne les ai point relevées, la discussion, ou plutôt la polémique scientifique relèverait bien vite de l'immortel et amusant poème de *Cervantes*, rappelant les évocatifs moulins à vent d'un de ses principaux héros.

Tout en reconnaissant d'ailleurs avec M. Dupont qu'*en général* la partie *accentuée* du délitement des masses schisteuses est plus développée *de beaucoup* dans les schistes que dans les calcaires, je me refuse à adopter des chiffres précis et des proportions constantes, qui seraient peu conformes à ce que nous montre la nature, par suite de la diversité et de la complexité des facteurs complémentaires qui règlent parfois très différemment ces proportions relatives.

Page 95, §§ 9 et 10, M. Verstraeten, signalant que j'admets l'existence, au sein des calcaires, de joints et de diaclases très multipliés, dit ce qui suit :

Il (M. Van den Broeck) ajoute que lorsque M. Dupont avance qu'ils (ces plans de divisions) sont *soudés* dans les calcaires, il ne faut pas prendre ce mot dans le sens rigoureux. Et comment donc faut-il le prendre? Le sens rigoureux n'est-il pas le seul qui convienne à la science? et par le terme *soudé*, M. Dupont a-t-il pu entendre : soudé au tiers, à la moitié, aux trois quarts?

Ici encore mon honorable contradicteur trouve de nouveau plus facile de s'attaquer aux mots plutôt qu'aux idées. Ce que j'avais en vue — et qui pouvait s'y tromper? — c'est qu'il ne faut pas admettre trop rigoureusement cette affirmation, quelque peu hasardée, de M. Dupont, qu'en général, *sous 1 mètre environ* de profondeur, les bancs calcaires seraient étroitement soudés, à part bien entendu de grandes diaclases. Je faisais allusion à l'existence si fréquente de *fentes secondaires*, assez nombreuses et assez larges encore, outre les grandes diaclases, pour que l'on ne puisse, sans protestation, suivre M. Dupont lorsqu'il dit (*Bulletin de la Soc. belge de Géol.*, t. VII, 1893; *Mém.*, p 199) que le phénomène de délitement du calcaire s'arrête assez brusquement sous environ 1 mètre et que sous cette minime profondeur « les bancs restent soudés et massifs et que l'eau ne sait plus y entrer ». S'élever contre ces conclusions trop absolues et dire, non en songeant aux fentes, mais aux bancs et au massif calcaire, qu'il ne faut pas prendre le mot *soudés* dans un sens trop rigoureux, ne veut nullement dire, comme le laisse à tort entendre M. Verstraeten, que j'admets « des soudures au tiers, à la moitié, aux trois quarts ».

Pages 95 et 96, M. Verstraeten, parlant des *épanouissements* le long des

Digitized by Google

joints et diaclases, soit des *cavités*, *grottes* et *cavernes*, dit ceci, nous visant cette fois, M. A. Rutot et moi :

Nos Secrétaires admettent l'existence de ces creusements dans les *calcaires;* le refusent aux *grès* comme aux *quartzo-schisteux* et les retrouvent dans les *craies;* etc... Pourquoi, demande-t-il, les cavités ne se formeraient-elles pas dans les grès?

D'abord, il est inexact de dire que M. Rutot et moi avons refusé des « *cavités* » aux grès. Nous sommes d'accord avec tous les géologues indistinctement sur ce point, qu'à part de rares cas, où interviennent des actions de tectonique, les *grottes* et les *grandes cavernes* sont pour ainsi dire inconnues dans les grès et dans les quartzo-schisteux. Si M. Verstraeten croit qu'il y a des *grottes* dans les grès, qu'il en cite des exemples.

Quant aux fentes et aux cavités de minime importance, servant de réseau circulatoire aux eaux des grès et des psammites, si, contre toute évidence, nous les avions niées, comment s'expliquerait, dans notre étude sur les galeries alimentaires de Liége (1), cette phrase relative au massif houiller traversé par ces galeries, dont nous disions qu'il constitue un dépôt franchement perméable dans une région où nous l'avons signalé comme étant constitué par des schistes *redressés*, alternant par places avec des psammites et des grès? Ce n'est assurément pas l'élément *schiste* qui fournit à ce dépôt ainsi disposé sa perméabilité générale, mais bien le grès et les psammites, grâce aux fentes et aux cavités multiples, quoique peu importantes, qu'ils renferment.

Quant aux cavités IMPORTANTES, pouvant être désignées sous le nom de *grottes* et de *cavernes*, si elles n'existent pas, en effet, d'une manière générale, dans les grès et dans les quartzo-schisteux, c'est — il est étonnant qu'il faille le rappeler à M. Verstraeten — parce que l'un des *principaux* facteurs du creusement de certaines roches, le phénomène de *dissolution* dû à l'acide carbonique des eaux d'infiltration, n'agit dans sa plénitude d'action que dans certains types spéciaux de roches, tels que le CALCAIRE et le gypse, que ce soit un calcaire rocheux ancien ou de la craie. Si les cavernes sont toutefois plus grandes et plus nombreuses dans les calcaires rocheux que dans cette dernière, c'est une conséquence de leur moindre menue fissuration, de leur plus grande cohésion et de leur plus grande résistance à l'affouillement et à l'écrasement, ces roches, bien plus que la craie, pouvant se passer de support sur de grands espaces.

La craie, cependant, quand elle n'est pas trop fendillée et fissurée — ce qui n'est nullement général, soit dans ses divers niveaux stratigraphiques, soit dans toute l'étendue d'un même horizon déterminé — se maintient

(1) E. VAN DEN BROECK et A. RUTOT, *Étude géologique et hydrologique des galeries d'eaux alimentaires de la ville de Liége.* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., DE PALÉONT. ET D'HYDROL., t. I, 1887, Mém., pp. 242-275, pl. IX et X.)

Digitized by Google

parfois très bien en voûte (1), soit dans des caves ou galeries artificielles, soit dans des conduits et canaux naturels; mais les cavernes naturelles de grandes dimensions y sont rares, et, en Belgique, on n'en connaît point.

Nous aurons à revenir plus loin sur les prétendues « cavernes » naturelles de nos craies de Hesbaye dont M. Verstraeten m'attribue la mention, j'ignore encore *d'après quel texte* autre que les mots bien modestes de « *fentes* » et de « *cavités* » du régime circulatoire aquifère de ce dépôt.

Mais n'abandonnons pas l'hydrologie des calcaires rocheux.

M. Verstraeten, page 99 de son exposé, rappelle les vues de M. Dupont sur la différence du régime hydrologique dans les schistes et dans les calcaires, et il proteste contre mon affirmation que sa critique aurait exagéré ce qu'a exposé M. Ed. Dupont à ce sujet.

Si du fait, reconnu par M. Dupont, que beaucoup de puits domestiques de nos régions rocheuses s'alimentent dans les schistes (2), où se réunissent, jusqu'à une certaine profondeur, des eaux d'infiltration; si de ce fait, dis-je, M. Dupont avait conclu que l'on est fondé à espérer obtenir dans ces dépôts beaucoup d'eau pour d'importants travaux de drainage alimentaire, certes il y aurait là une grave erreur d'appréciation de cet auteur, et les critiques de M. Verstraeten n'eussent pas été *exagérées*. Mais dans la pensée de M. Dupont, il s'agissait comme objet principal d'engager le cultivateur à mieux utiliser cette réserve d'eau d'infiltration que contient la partie délitée du schiste et du quartzo-schisteux. En engageant le cultivateur soit à approfondir, à multiplier, soit même à compléter ses puits usuels par des tronçons ou bouts de galeries drainantes, M. Dupont lui renseignait le moyen de s'assurer une majoration de débit et surtout un fonctionnement plus régulier que celui de certains de ces puits de paysans, qui trop souvent tarissent en été. C'est là un bon conseil gratuit donné par M. Dupont aux cultivateurs, et l'on ne peut que l'approuver. Or, en laissant croire au lecteur que la portée du conseil est tout autre et qu'il y aurait généralement, d'après M. Dupont, *de grandes ressources aquifères* à retirer de l'établissement de *galeries drainantes* dans le schiste, — ce qui n'est possible que dans des cas spéciaux et localisés, — M. Verstraeten a

(1) Il faut aussi tenir compte de ce facteur de résistance plus grande à la dissolution que fournit d'une manière très générale une assez forte proportion d'*éléments siliceux*, épars ou concrétionnés dans nos craies sénoniennes, proportion dont les strates de *rognons de silex* fournissent l'indication d'une manière si visible dans la plupart de nos niveaux crétacés du Hainaut et du Limbourg. Dans ma *Réponse à la note critique de M. Flamache* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., t. IX, 1895, Mém., pp. 368-415), j'ai signalé qu'il y a une telle proportion de *silice* dans la craie sénonienne du massif liégeois que les eaux qui en sortent et en ont dissous une partie, malgré la très faible solubilité de cette substance, en contiennent 247 grammes par mètre cube d'eau de drainage du massif crayeux, contre 2kgr,748 de calcaire dissous.

(2) Voir pour mieux préciser encore la thèse de M. Dupont, la *Note additionnelle* n° 1.

Digitized by Google

singulièrement exagéré son rôle de critique quand il dit : « *prémunissons* les ENTREPRISES contre l'insuccès qui les attend dans les recherches *d'eaux constantes* en pareille occasion ». Que penser enfin de ses intentions quand il vient objecter, pour finir, « qu'il ne faut pas plus fourvoyer les paysans que les ingénieurs » ! Tout cela parce que j'avais fait remarquer que les conseils de M. Dupont s'adressaient *plutôt* aux premiers qu'aux seconds.

Passant ensuite en revue ce que M. Rutot et moi, dans notre *Étude sur les galeries alimentaires de Liége* (LOC. CIT.) avons dit du terrain houiller, M. Verstraeten (p. 105) s'exprime ainsi :

Quant à la Géologie (du bassin du Geer). MM. les Secrétaires disent :

Du *terrain houiller :* qu'il est constitué par des alternances de schistes, de grès, de psammites, dépôt *franchement perméable ;*

Du *calcaire carbonifère :* qu'il est perméable, grâce à ses fentes, joints de stratifications et cavités diverses qui permettraient un écoulement irrégulier et localisé des eaux superficielles, si elles pouvaient atteindre en ces régions la surface du terrain primaire.

Et il dit plus loin (p. 106) :

Vérifions ces assertions telles quelles. Le *terrain houiller* serait donc *franchement perméable.* Il est certain que c'est inexact pour une de ses parties constitutives : le *schiste ;* et que son intercalation dans un dépôt compromet la perméabilité de l'ensemble.

Le calcaire carbonifère, lui aussi, est perméable grâce à ses fentes, etc. ; mais s'il est fissuré au point d'être considéré comme perméable, pourquoi ne permettrait-il que des écoulements irréguliers et localisés de ses eaux ?

Il est toujours intéressant de placer en regard de ce que *nous fait dire* M. Verstraeten, le texte de ce que nous avons dit *réellement.*

Dans le chapitre II de notre étude sur les galeries liégeoises, il n'est *nullement* question des propriétés du TERRAIN HOUILLER ni des calcaires carbonifères, *en général.* Comme l'indique l'entête dudit chapitre, nous n'avons eu à nous occuper ici que de la constitution du sol *dans la région traversée par les galeries* des eaux alimentaires.

Nous n'avons nullement dit qu'en général, le terrain houiller est un dépôt franchement perméable, ce qui serait une impardonnable hérésie, que cherche cependant à nous imputer M. Verstraeten

Nous avons dit, en nous référant à la figure 1 de notre planche X, que, *au dessus* du niveau d'une partie des galeries, le terrain houiller, disposé en tranches et en alternances VERTICALES *venant buter ici contre les parois horizontales des galeries,* montre que, dans la région considérée, « les schistes *redressés* alternant avec des *psammites* et des *grès* (voir planche X, figure 1), constituent un dépôt franchement perméable ».

S'il est exact qu'envisagée dans le sens normal à la *succession* des couches, l'intercalation de schistes entre des bancs de psammites et de grès n'est pas favorable à la perméabilité de l'ensemble, il n'en est plus du tout de

Digitized by Google

même dans le cas d'une succession *redressée* de ces mêmes éléments, ni de son action sur des galeries qui se trouvent creusées horizontalement *sous* un massif ainsi constitué d'alternances perméables et imperméables.

Quant au motif, demandé par M. Verstraeten, qui, dans le calcaire fissuré, ne permet guère, selon nous, selon M. Dupont et suivant tous les géologues en général, que des écoulements irréguliers et localisés de ses eaux, c'est précisément parce qu'avec la profondeur se localisent et se raréfient de plus en plus les fentes, fractures et diaclases, constituant, avec leurs élargissements localisés, *les* SEULS *espaces* que peut occuper l'eau dans ces massifs compacts et non poreux. C'est même là ce qui provoque souvent en profondeur une telle PROPORTION de *discontinuité* dans les eaux des réservoirs aquifères des calcaires et des terrains fissurés, que cette discontinuité ne saurait raisonnablement, ni surtout *pratiquement*, être comparée à la « discontinuité » que provoque le volume d'un grain de sable dans les nappes ou couches aquifères des dépôts meubles. C'est cependant cette unification dérisoire, parce que absolue et systématique, des régimes aquifères qui hypnotise si fâcheusement M. Verstraeten, qu'il préfère se payer de mots plutôt que d'établir des lois utilisables en pratique. Et ce n'est certes pas de l'autorité des *Daubrée* ni des *Martel* qu'il pourra étayer de telles vues, et encore moins de celle de M. le professeur *Stainier*, que M. Verstraeten tente à plusieurs reprises de présenter comme acquis à ses vues et opposé à celles défendues par moi.

Voici quelques passages de M. E.-A. Martel extraits de son excellent petit manuel pratique de la collection « Scientia » et intitulé : *La Spéléologie* (Paris, 1900).

On sait quelle *distinction* a été établie par MM. Delesse, Daubrée, Éd. Dupont. de Lapparent, etc. (voir *Abîmes*, pp. 537 à 544), entre les *terrains meubles*, fragmentaires ou incohérents, et les *terrains fissurés*. Dans les premiers, l'*imbibition* de toute la masse donne naissance à de *vraies nappes d'eau ;* dans les seconds, le *suintement* et l'*infiltration* ne pouvant se produire que par les fentes naturelles, et l'eau ne pénétrant pas l'intérieur des blocs compacts délimités par ces fentes, il y a un *réseau de canaux* confluant des plus petits aux plus grands; peu à peu, dans les profondeurs invisibles, la concentration de toutes les particules et de tous les filets d'eau forme un courant qui ne tarde pas à devenir une vraie *rivière souterraine*.

L'auteur cite ensuite les cas nombreux qui ont montré,

avec toutes les récentes recherches souterraines, que, dans les terrains calcaires, les réservoirs naturels des eaux de source ne sont pas comme on l'enseigne encore, des nappes d'eau *étendues en tous sens*, ainsi que dans les terrains sablonneux, mais bien de vraies rivières, à niveau variable et à écoulement plus ou moins rapide dans des galeries développées surtout en hauteur et en largeur.

M. Martel, signalant ensuite, à l'appui de cette similitude, la rencontre qui a été faite, à plusieurs reprises, de véritables confluents de cours d'eau souterrains, ajoute (p. 34 du manuel précité) :

Digitized by Google

Et IL N'EST PLUS POSSIBLE *de méconnaître* que les fontaines puissantes du calcaire ne jaillissent, si subites et si abondantes, que comme résultantes et combinaisons de tout un système de vaisseaux intérieurs, affluents les uns des autres.

Cependant, quelques géologues et *surtout beaucoup d'ingénieurs* (1) se refusent encore à admettre que le mode de circulation des eaux souterraines des terrains fissurés soit aussi comparable à celui des ruisseaux et rivières de la surface, ou au système d'égouts (gouttières et collecteurs) d'une grande ville.

C'est même cette raison qui pousse M. Martel à s'allier avec M. *Daubrée* (Eaux souterraines, tome I, p. 18) pour demander la PROSCRIPTION pour les eaux des calcaires fissurés de l'expression *nappes d'eau*.

Il faut bien se persuader, dit-il page 35, qu'il n'y a pas, dans les terrains fissurés, de ces *nappes continues, spéciales aux terrains meubles ou poreux*.

M. Martel, page 36, rapportant l'avis de M. Schloesing (*C. R. Acad. Sc.*, 13 avril 1896), d'après lequel, pour les terrains fissurés, « la nappe souterraine est discontinue au lieu d'être continue », ajoute :

Ce correctif n'est pas suffisant encore ; il faut professer, répétons-le, que dans ces terrains, les *courants* et les *poches* remplacent les *nappes*.

Enfin dans le chapitre VI du petit Traité : *La Spéléologie*, M. Martel répète nettement l'exposé de ses vues qui sont la synthèse de l'homme qui a le plus vu et observé par lui-même ce qui se passe dans les entrailles des massifs calcaires de l'Europe entière. Il dit :

Nous avons vu que la circulation souterraine, dans l'intérieur d'un plateau calcaire, est presque semblable à celle des rivières superficielles ; des courants s'y réunissent et s'y grossissent de proche en proche, exactement comme la canalisation des gouttières et des égouts d'une ville. Ils sont bien, pour les terrains fissurés, les collecteurs généraux des crevasses de drainage, ramifiées à l'infini dans le sol sous forme de hautes cheminées d'adduction (gouttières) et de longues galeries d'écoulement (égouts). (La Spéléologie : collection *Scientia*, p. 58.)

Comme nous avons cependant en Belgique des dispositions de bassins calcaires localisés, *au fond* desquels les eaux doivent s'amasser sous forme de nappes, discontinues il est vrai, mais *dépourvues*, en leurs régions profondes, de *toute possibilité de circulation*, il me semble que M. Martel va un peu loin avec cette proscription absolue, et, d'accord avec M. Boursault, on pourrait être moins sévère et moins exclusif pour l'emploi du mot *nappe*, bien que l'on puisse préconiser de préférence les expressions : *poche*, *masse*, *réserve* ou *réservoir aquifère*.

Voici maintenant ce que dit M. X. *Stainier* (2), professeur de géologie et d'hydrologie à l'Institut agricole de Gembloux et membre de la Commission géologique de Belgique :

Le mot de nappe aquifère éveille immédiatement à l'esprit une idée de *continuité*.

(1) Ce passage, faut-il le dire, s'applique spécialement à *M. Verstraeten*. (E. V. d. B.)

(2) *Allure des nappes aquifères au contact des terrains primaires*, par X. STAINIER, dans la *Technologie sanitaire* de 1896, 1re année, n° 18, du 15 avril, pp. 409-418.

Digitized by Google

de *régularité* qui, si elle est vraie pour les nappes comprises dans les terrains récents, horizontaux, est, au contraire, le plus souvent *fausse* pour les nappes en rapport avec les terrains primaires. Il en résulte que si l'on veut *appliquer à ces nappes des terrains primaires,* les procédés et les calculs au moyen desquels on peut prévoir l'*allure des nappes des terrains horizontaux*, presque toujours les *prévisions et les calculs se trouvent* EN DÉFAUT. Cet insuccès est dû à ce que *ces nappes sont essentiellement différentes.* Les unes sont continues, régulières, souvent très étendues; les autres, au contraire, sont discontinues, irrégulières, presque toujours très limitées.

Et voilà cependant l'avis d'un géologue que M. Verstraeten essaie à diverses reprises (voir pages 95 et 102) de faire considérer comme rangé sous sa bannière. Et, si accommodant, lorsqu'il tente de faire rimer *procédé de polémique* avec *vérité scientifique,* notre honorable contradicteur devient, au contraire, intransigeant si l'on n'adopte pas entièrement sa thèse. Il n'admet pas qu'on lui fasse même une petite concession. Et en effet, se reportant au compte rendu d'une excursion hydrologique de la Société en 1893, dans laquelle M. *Rutot* a admis « l'*hypothèse* de niveaux aquifères plus ou moins continus dans certains calcaires à allure *horizontale* et régulière, comme ceux de Tournai, par exemple », par contraste avec la localisation des eaux dans les calcaires redressés, M. Verstraeten ne veut pas même entendre parler ici d'hypothèses. C'est un *fait*, dit-il, que l'existence d'une *couche aquifère générale* dans cette roche, constatée, relevée, avec sa nappe déterminée de position, et il renvoie à sa figure 6, reproduite ci-dessous, représentant le système hydrologique du versant gauche de la vallée de l'Escaut, à Tournai.

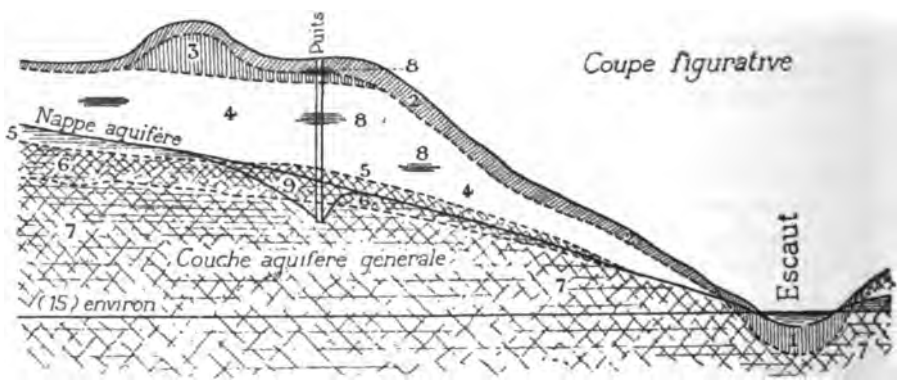


FIG. 3. — Système hydrologique du versant gauche de l'Escaut, à Tournai. — Reproduction de la figure 6 de M. Verstraeten.

LÉGENDE : 1. Alluvions perméables. — 2. Limon perméable. — Argile ypresienne imperméable. — 4. Sable landenien perméable avec (8) eaux locales. — 5. Cailloutis. — 6. Crétacé très fissuré. — 7. Calcaire carbonifère fissuré. — 9. Dépression locale de la nappe, causée par l'action du puits ici figuré.

Mais il nous eût été bien agréable, à M. Rutot et à moi, en 1887, de nous trouver, précisément à Tournai, en présence réelle de cette *merveilleuse*

Digitized by Google

nappe ou *couche aquifère générale*, dont la figure 6 ci-dessus de M. Verstraeten fournit l'attrayant mirage.

En effet, lorsque, à la demande de l'Administration des bâtiments civils, nous avons, mon collègue et moi, été appelés à étudier, en vue d'y remédier, les causes d'ARIDITÉ *presque absolue* d'un profond puits artésien de 170 mètres creusé à l'Asile des aliénés, nous avons pu constater que lorsqu'on sort de la région d'*infiltration latérale des eaux de l'Escaut* au sein des calcaires horizontaux de la région de Tournai, il se présente des endroits bien néfastes assurément aux hypothèses de M. Verstraeten, et où des puits creusés à des profondeurs *considérables* dans le calcaire horizontal restent absolument sans eau, sans alimentation souterraine autre que celle des terrains meubles recouvrants, alors qu'à de minimes distances les phénomènes de circulation et de localisation aquifère, si nettement niés par M. Verstraeten, fournissent, à des niveaux bien moins profonds, des ressources aquifères *abondantes*.

Voici le détail des FAITS constatés par nous *dans la région même que synthétise la figure 6 de M. Verstraeten*. Le puits, alors en creusement, de l'*Asile des aliénés*, situé à la cote 45, sur le versant gauche de la vallée de l'Escaut, avait atteint 170 mètres de profondeur et ne fournissait qu'une très faible venue d'eau, toujours la même depuis l'établissement du niveau d'eau aux débuts du creusement. Cette eau était très vite épuisée par un pompage de quelques heures à peine. Et cependant le puits de l'*Hospice civil*, situé à 500 mètres de là seulement, et à peu près à la même altitude, avait rencontré, vers le haut, un débit assez satisfaisant. L'eau provenait soit des parties supérieures du calcaire, soit du niveau aquifère de la base caillouteuse des dépôts secondaires recouvrants (1), et s'y maintenait, au pompage, à 36 mètres du sol.

C'est en adoptant la croyance, si peu justifiée, des nappes d'imprégnation générale et de l'existence d'un réseau assez *constant* de joints et lithoclases *aquifères* dans tout massif calcaire en général, croyance qui est celle de M. Verstraeten, que l'on avait successivement foré, à grands frais, mais

(1) Creusé à la cote 47.37, le puits de l'*Hospice civil* a son niveau piézométrique à 32m,50 du sol. Au pompage, l'eau descend à 36 mètres du sol et ne baisse plus. Certains hivers, l'eau remonte de 2 mètres, ce qui est assez significatif comme donnée sur l'origine peu profonde de la venue d'eau. Le puits est maçonné sur 30 mètres.

La succession des dépôts rencontrés est la suivante : limon quaternaire, 2 mètres; argile grise turonienne, 10 mètres; argile grise avec petits cailloux et eau, à 13 mètres, 1m,50; argilite, sable, gros cailloux et silex, 1 mètre; argilite à silex, 2m,70; glaise noire (altération de la marne sous-jacente) 1m,50; marne blanche, 3m,50; marne blanche avec glaise jaune et gravier, 0m,70; calcaire carbonifère, 7m,30, dont les 5 derniers mètres fossilifères. Ce puits de 30 mètres, qui a 1m,45 de diamètre, se continue par un forage dans le calcaire, ayant 70 mètres de profondeur et dont le diamètre, d'abord de 0m,30, passe à 0m,20 dans sa partie inférieure.

Digitized by Google

bien inutilement, au fond de ces deux puits, un épais massif de calcaire : 70 mètres d'un côté, 143 de l'autre !

Nous apprîmes d'abord que la coupe du puits de l'Asile se composait d'environ 13 mètres de limon avec cailloux quaternaires à la base, d'un peu de Landenien, puis de 4 mètres de marnes turoniennes avec 2 mètres de gravier et de cailloux à la base. Dessous s'étendait un massif homogène de 151 mètres de *calcaire carbonifère*, dont 143 percés dans le forage qui continue le puits, profond de 28 mètres, dont 8 de calcaire.

Après divers essais de pompage montrant l'absence de venues d'eau en profondeur dans le massif calcaire, nous fîmes hermétiquement boucher le forage ($0^m,45$ de diamètre) à 70 mètres de profondeur sous le sol et nous constatâmes, à l'aide d'une pompe placée à environ 61 mètres, que le débit restait le même qu'auparavant. Après avoir, à diverses reprises, enlevé un certain nombre d'hectolitres, nous avons constaté qu'il n'y avait plus d'eau et qu'il fallait une *vingtaine d'heures* pour laisser se renouveler la réserve du puits.

Ainsi des pompages exécutés pendant trois jours consécutifs, à raison, successivement, de quatre heures trois quarts, quatre heures trois quarts et huit heures — répartis en deux périodes, séparées, à midi, par l'heure du repas, des six ouvriers pompeurs — ont fourni respectivement 74, 87 et 105 hectolitres et ont chaque fois amené l'*asséchement* du puits, comme c'était le cas avant la mise en position du bouchon à 70 mètres. On reconnaît ici, par l'augmentation des réserves, l'action bien connue du pompage sur le débouchage des canaux aquifères souterrains. Malgré cela, l'extrême lenteur du renouvellement est si peu conciliable, on en conviendra, avec l'existence d'un réseau général aquifère dans le massif calcaire de ces parages que l'on a grande peine à admettre que l'eau du puits provienne spécialement du calcaire. Il y a mieux encore. On entendait distinctement, en plaçant l'oreille à l'orifice du puits, l'eau tomber et dégouliner d'une certaine hauteur dans celui-ci. Cette eau devait donc, au moins en grande partie, provenir de l'épais cailloutis de la base du Turonien, dont une partie suintait à travers la maçonnerie et dont une autre partie sans doute s'infiltrait en cheminement oblique et par escaliers dans la partie superficielle du massif calcaire sous-jacent. Quant aux *151 mètres de calcaire*, ils ne contribuaient guère, s'ils y étaient pour quelque chose, à la maigre et lente alimentation du puits de l'Asile !

Si, dans ses niveaux supérieurs, le puits voisin de l'Hospice civil trouvait — ce qui n'est nullement prouvé — une source d'alimentation *autre* que la base caillouteuse du Turonien, il le devait alors soit à un *joint aquifère*, bien ouvert, du calcaire, soit à quelque heureuse *fissure* localisée dans ces parages.

L'existence localisée à certains niveaux de ces joints aquifères nous a d'ailleurs été démontrée par l'examen, en pleine saison de gelée, de carrières voisines *en contre-bas de la région considérée*.

Digitized by Google

Nous y avons nettement constaté l'existence de deux ou trois *joints* horizontaux fournissant de l'eau; mais le *faible volume* DE GLACE restée accumulée en ces points d'écoulement aquifère et représentant le produit total de déversement après une certaine période de forte gelée était non moins nettement démonstratif de la *faible quantité d'eau* fournie par ces joints du calcaire.

Certes, il faut tenir compte du drain constitué par la cavité artificielle des carrières et du rabattement des niveaux aquifères qui en résulte, mais la *présence*, à des niveaux supérieurs au fond de la carrière, de ces *venues d'eau* constitue par contre la preuve *indéniable* de l'existence d'un *régime circulatoire localisé* fonctionnant *au-dessus* des réserves aquifères que d'autres joints et diaclases renferment aussi, par places, plus bas. N'oublions pas que c'est la mention de ce *régime circulatoire localisé*, dans notre communication du 12 novembre 1898 qui a excité, bien à tort, la verve de M. Verstraeten, puisque c'est la non-compréhension de ce caractère qui a constitué le fond de ses attaques contre ce qu'il a appelé notre « conception hydrologique nouvelle ».

Mais revenons à nos constatations de Tournai et demandons-nous ce que devient dans tout cela l'humide *mirage* de la figure 6 de M. Verstraeten, ainsi que la *belle nappe profonde* et d'*imprégnation générale* qu'elle représente, nappe dans laquelle les forages des deux puits de l'Hospice civil, et surtout celui, si profond, de l'Asile des aliénés ont vainement cherché à s'alimenter. C'est un absolu *néant* aquifère qu'ils y ont trouvé, malgré les innombrables joints et aussi les cassures qu'ils ont dû rencontrer sur un pareil développement vertical de roches régulièrement stratifiées et sensiblement horizontales. Et dire que nous voici cependant dans la région de la rive gauche de l'Escaut et dans le massif, *tout baigné d'eau*, que représente (voir p 410) la figure 6 de notre honorable contradicteur!

Un peu TROP *discontinues*, EN FAIT, les eaux d'imprégnation générale, les vastes nappes aquifères du calcaire, telles que les conçoit et les représente M. Verstraeten!

Ce que nous avons constaté à Tournai, à cette occasion, est aussi *un fait*, je pense, et il est confirmé par de multiples observations analogues signalées par M. le professeur Gosselet (1) dans ses *Leçons sur les nappes aquifères du Nord de la France*.

Parmi les observations citées par le savant géologue de Lille, je ne puis résister au désir de mentionner les suivantes, montrant, pour le cas de couches de calcaire carbonifère en strates inclinées, localisant, parallèlement à cette disposition, les nappes souterraines du calcaire, combien est fausse la généralité de la conception que M. Verstraeten applique, sans distinction, à tous les massifs calcaires, de l'existence d'un *réservoir*

(1) *Loc. cit.*

Digitized by Google

général d'imprégnation et d'emmagasinement aquifère au travers de la masse profonde des massifs calcaires.

Parlant d'une série de forages infructueux tentés à Lille, M. Gosselet dit :

On avait fait, il y a quelques années, un puits qui avait atteint le Calcaire carbonifère à 120 mètres de profondeur, et l'on avait obtenu de l'eau. L'année passée on voulut faire un second puits *à 100 mètres de distance* du premier. On recoupa les même terrains ; on alla jusque 180 mètres sans rencontrer d'eau.

Pourquoi le succès dans le premier cas et l'insuccès dans le second ?

Tout simplement parce que, comme le montre plus loin M. Gosselet, les couches à réservoirs aquifères constituent, dans certains massifs de calcaires réguliers disposés en bancs rectilignes, des niveaux spéciaux et *localisés*, et lorsqu'ils sont, comme à Lille, régulièrement inclinés, il arrive parfois que de nouveaux forages, même à petite distance, restent dans des niveaux stratigraphiquement inférieurs à ceux aquifères, dont l'eau ne se répand nullement par imprégnation générale, comme se le figure M. Verstraeten, dans toute la masse profonde du massif calcaire.

M. Gosselet ajoute encore :

On fait, en 1838, un sondage à Crèvecœur, près Cambrai, pour chercher le charbon. On pénètre à 123 mètres dans le Calcaire carbonifère : l'eau jaillit immédiatement. A 131 mètres, elle vient avec une telle violence qu'il faut interrompre les travaux...

Ce résultat décide le propriétaire du château de Révélen, situé aussi à Crèvecœur, à faire un sondage pour avoir de l'eau jaillissante dans sa propriété. A 123 mètres de profondeur, il rencontre le calcaire dur, mais pas d'eau. Il va jusqu'à 137 mètres : pas une goutte d'eau !

Dans son étude sur l'*alimentation en eau des villes et des industries du nord de la France* (1), M. le professeur Gosselet signale encore un cas de ce genre, constaté à Croix, près de Roubaix.

Des puits productifs ouverts dans cette localité dans la dolomie du calcaire carbonifère, dont les bancs sont dirigés de l'est à l'ouest, avaient engagés un teinturier de Croix, M. Hannaert, à s'adresser à M. Gosselet pour la désignation de l'emplacement d'un puits creusé dans le calcaire. Un puits foré à l'ouest des forages productifs rencontra la dolomie de 82 à 101 mètres de profondeur et trois cavités heureusement rencontrées dans cette partie du massif calcaire fournirent de l'eau en abondance, à raison de *4,000 mètres cubes par vingt-quatre heures* et avec jaillissement à *5^{m},70 au-dessus du sol*. M. Hannaert ayant ensuite foré un

(1) Conférence donnée en 1898 à la Société géologique de France, reproduite dans les *Annales de la Société géologique du Nord*, t. XXVII, pp. 272-294.

Digitized by Google

nouveau puits à *10 mètres seulement du précédent*, ne trouva qu'un massif de dolomie compacte, épais de 30 mètres et il n'obtint *pas une goutte d'eau*.

Les voilà bien les nappes générales d'imprégnation des massifs calcaires fissurés, analogues à celles des dépôts meubles!

Aux croquis imaginaires de M. Verstraeten, fournissant pour tous les types — si divers en réalité — des réservoirs aquifères du calcaire, des allures toujours identiques entre elles et identiques aussi à celles des couches aquifères des terrains meubles, j'opposerai simplement ceux si simples, si suggestifs et si convaincants, représentés par les figures 5, 6 et 7 des *Leçons* de M. le professeur Gosselet, auxquels on voudra bien reconnaître quelque autorité (1).

Il faut remarquer que le cas des couches calcaires régulièrement inclinées visé par le savant professeur de Lille, est celui qui se représente aussi des *deux côtés* d'un «bassin» calcaire en forme de cuve ou de fuseau allongé.

Je regrette d'avoir dû engager mon honorable contradicteur à méditer les « Leçons » de M. le professeur Gosselet, et à lui rappeler ces excellentes données d'hydrologie pratique, qui INFIRMENT si nettement l'existence des *vastes couches d'imprégnation générale en profondeur*, imaginées par M. Verstraeten. Aussi, l'on peut se demander s'il ne faut pas renvoyer à ce dernier, la crainte de « fourvoyer les ingénieurs » ou les administrations qui se baseraient sur ses conceptions pour établir des travaux d'eau en massifs calcaires!

M. Verstraeten, qui a vaillamment fait ses preuves dans le drainage des terrains meubles, dont la géologie et l'hydrologie, autrement faciles que celles des terrains primaires, lui sont certainement familières, aurait sagement agi en ne prenant pas nettement position, comme il l'a fait (2), dans une question aussi complexe et aussi difficile que celle de l'hydrologie des terrains calcaires, laquelle réclame une préparation géologique longue et difficile.

S'il veut, laissant de côté toute question d'amour-propre, examiner impartialement l'ensemble des faits, des définitions et de l'expérience de l'*universalité* des géologues, hydrologues et spécialistes, il devra bien, en toute équité, reconnaître qu'il reste à peu près *seul de son avis*, alors

(1) *Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XIV, 1886-1887, pp. 280, 281 et 282. Voir aussi : *Bull. Soc. belge de Géologie*, t. II, 1888. Trad. et reprod. pp. 26, 27 et 28 (la figure 5 de la page 26 est numérotée par erreur : fig. 7).

(2) TH. VERSTRAETEN, *Examen hydrologique des bassins du Hoyoux et du Bocq*. (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., etc., t. VIII, 1894, Proc.-Verb., pp. 141-165.) TH. VERSTRAETEN, *Hydrologie des bassins rocheux de Belgique. — Examen des opinions contradictoires émises à ce sujet*. (IBIDEM, t. IX, 1895.) *Mém.* pp. 241-259.

Digitized by Google

qu'il croyait, tant en matière d'opinions qu'en matière de terminologie, rallier de nombreux spécialistes à sa manière de voir.

Pour en revenir aux divers exemples précédemment rappelés, fournis par des puits creusés dans le calcaire, n'est-ce pas sortir complètement du domaine de la *pratique technique* de comparer les discontinuités d'eau dans les calcaires, telles qu'elles ressortent des croquis et des exemples de M. Gosselet, et du cas que nous avons signalé pour Tournai, aux discontinuités des couches aquifères dans les dépôts meubles, où les eaux sont, comme le dit M. Verstraeten, « nécessairement interrompues par les *grains de sable*, les graviers, les cailloux, les galets, les blocaux, les *massifs* »?

Ainsi le *massif* calcaire, resté sans eau sur 60 mètres, cité par M. Gosselet, d'un puits profond de 180 mètres, situé à 100 mètres de distance d'un autre puits qui en fournissait abondamment dès 120 mètres; le massif qui, sur 30 mètres de hauteur, n'a pu faire rencontrer une goutte d'eau, et cela à 10 mètres de distance d'un autre puits fournissant 4,000 mètres cubes par jour, voilà les ÉQUIVALENTS morphologiques de l'élément de « discontinuité » fourni par un *grain de sable* séparant deux particules d'eau dans une couche aquifère de terrain meuble!

Et voilà cependant comment M. Verstraeten entend *unifier* PRATIQUEMENT *l'hydrologie des calcaires avec celle des dépôts meubles!*

S'il s'était borné à nous dire que les calcaires, qu'en « romancier » de la tectonique, il qualifie pittoresquement de « secoués, ondulés, plissés, brisés, renversés, bouleversés », ou que tout au moins certains de nos petits replis et bassins calcaires primaires belges, très convulsés et fracturés, paraissent devoir fournir plus de voies de communication et de canaux de circulation générale que les calcaires, restés réguliers et horizontaux ou obliques du Tournaisis ou du Nord, c'eût été autre chose.

Il aurait même pu ajouter que, conformément cette fois à sa thèse, de *tels* bassins fermés, en cuvettes calcaires isolées par un substratum imperméable, peuvent parfois contenir, *dans le bas*, LORSQU'ILS SONT SUFFISAMMENT FISSURÉS, de véritables réservoirs aquifères d'imprégnation générale jouant le rôle des nappes ordinaires des dépôts meubles.

Aussi est-ce précisément en vue de pareils bassins calcaires, *mais de ceux-là seulement*, que je me déclare partiellement d'accord avec M. Verstraeten pour adopter la disposition générale du réservoir aquifère de M. Verstraeten, figuré page 396, mais, bien entendu, avec l'adjonction du *dispositif supérieur de circulation temporaire localisée*, que représente schématiquement la figure 6 (voir *ante*, page 399) de l'étude de M. Stainier dans sa *Note sur la formation des cavernes*, dispositif dont la notion paraît échapper à mon honorable contradicteur. C'est ce que j'ai développé pages 396 à 399 de ma présente réponse : il est donc inutile d'y revenir, et ce simple rappel clôturera la série d'exemples que je tenais à fournir du mode

Digitized by Google

de discussion « scientifique » de M. Verstraeten en ce qui concerne l'hydrologie des terrains calcaires.

Dans les pages qui précèdent, j'ai surtout rencontré « le Critique » défendant obstinément sa thèse de l'*unification des régimes aquifères* et le principe de l'*identité d'allures et de caractères* des nappes, aussi bien en *terrain fissuré calcaire* qu'en *terrain perméable meuble*.

Il serait intéressant de rechercher si « l'Ingénieur », aux prises avec la nature et avec les travaux à exécuter, a pu toujours défendre pareille thèse et l'appliquer à ses études et projets.

Un exposé technique de M. Verstraeten, publié à Tournai en 1888 et intitulé : *La question des eaux de Tournai*, va se charger de nous édifier à cet égard.

En ce temps-là, M. Verstraeten, avec la collaboration de son collègue, M. l'ingénieur François, s'occupait de rechercher des eaux alimentaires pour Tournai, et il proposa à l'Administration communale de cette ville un ensemble de projets, non adoptés d'ailleurs, dont il exposa l'économie dans un Rapport présenté à une séance de la Commission locale des eaux, le 16 août 1888.

La brochure, dont on va lire quelques paragraphes, reproduit les principaux éléments de ce Rapport.

L'auteur commence par dire, avec raison, que « l'étude de la question des eaux de Tournai exige tout d'abord l'examen du sol et du sous-sol » des deux versants de l'Escaut. Avec non moins de raison, il a commencé par déléguer son confrère, M. François, auprès d'un géologue, M. *Rutot*, familiarisé avec le sol et le sous-sol du Hainaut, et il lui a fait demander des renseignements, des croquis et diagrammes géologiques qui, gracieusement fournis, ont été joints, sinon à la brochure imprimée, qui y fait cependant maintes allusions, du moins au Rapport officiel présenté à l'Administration communale.

Page 5 de sa brochure, M. Verstraeten dit ceci :

> Les notes et croquis de M. Rutot, ingénieur-géologue, joints au présent exposé, permettront, à ceux qui le désirent, de puiser de plus amples informations sur le sous-sol de la contrée.

A cette époque donc, M. Verstraeten, pour ses travaux techniques, ne dédaignait pas de commencer par réclamer l'aide et le concours du géologue, afin d'être exactement renseigné sur les terrains qu'il se proposait de drainer.

Il est à remarquer que, six ans plus tard, M. Verstraeten, embarqué dans la thèse que l'on sait, sur l'hydrologie des calcaires, avait perdu de vue son propre mode opératoire.

Digitized by Google

Il dit, en effet, en ouvrant le chapitre *Historique* de son *Examen hydrologique des bassins du Hoyoux et du Bocq* (1) :

Dans l'exposé qu'il nous a présenté le 23 janvier 1893, M. Putzeys, directeur des Eaux de la ville de Bruxelles, exprime l'opinion que l'ingénieur hydrologue doit s'effacer devant le géologue quand il s'agit d'apprécier, au point de vue des eaux, ce qui se passe dans les entrailles de la terre.

Je ne saurais admettre cette manière de voir. Je regarde cette soumission comme trop commode, comme incompatible avec une vraie direction, une vraie responsabilité : j'estime que tout chef d'un service public important, s'il a le devoir de consulter toutes les autorités, n'a pas le droit de s'effacer devant aucune d'elles.

Toujours les mêmes querelles de mots, auxquelles nous a habitués M. Verstraeten !

Il ne s'agit pas, dans ce qu'a dit très justement M. Putzeys, de soumission, d'abandon de responsabilité ni de direction, non plus que d'effacement devant le géologue : il est question tout simplement de l'importance pratique qu'il y a à faire intervenir, *dès le début*, le géologue, c'est-à-dire à consulter *rationnellement* la géologie, pour *être à même*, sans tâtonnements, recherches inutiles ni perte de temps, « d'apprécier, au point de vue des eaux, ce qui se passe dans les entrailles de la terre ».

Or, c'est bien cela, d'accord avec l'excellent conseil de M. Putzeys, que MM. les ingénieurs Verstraeten et François avaient fait en 1888, à propos de leur étude des eaux de Tournai ; et c'est ce que M. l'ingénieur François, en particulier, l'ancien collaborateur de notre honorable contradicteur, a fait encore, avec raison et sagacité, en maintes circonstances similaires, qu'il serait facile d'énumérer.

La conséquence de cette consultation géologique préalable de 1888 est que l'exposé fait par M. Verstraeten du régime géologique et hydrologique de la série des terrains meubles (quaternaire, tertiaire et crétacé) de la région de Tournai est bien fait, rationnel et complet.

Mais, passant au vaste et uniforme substratum de *calcaire rocheux* qui constitue le soubassement de ces dépôts meubles, tertiaires et secondaires, M. l'ingénieur Verstraeten, aidé seulement par M. l'ingénieur François, a voulu en aborder l'étude hydrologique, se basant seulement pour cela sur l'examen des carrières et sur l'étude des puits, et sans songer apparemment qu'un géologue des plus compétents en matière d'hydrologie primaire, M. le professeur J. Gosselet, aurait pu aisément, pour ce substratum rocheux et son hydrologie, lui rendre les mêmes services que ceux qu'il avait réclamés de M. Rutot, spécialement pour les dépôts meubles recouvrants.

Voyons maintenant ce que, abandonné à lui-même, M. Verstraeten a

(1) *Bulletin de la Société belge de géologie, etc.*, t. VIII, 1894, Procès-Verbaux, pp. 141-165.

Digitized by Google

exposé relativement au régime hydrologique des calcaires de la région de Tournai.

Dans les pages 6-7 de son exposé, il suppose qu'un tube de forage pénètre successivement au travers des couches indiquées dans les croquis de M. Rutot, et il considère cette opération s'effectuant préalablement à l'existence des puits, carrières, etc., œuvres de l'homme, qui ont modifié les données actuelles du problème hydrologique.

Il dit, page 7 :

Nous abordons de la sorte le calcaire. Si aucune fissure n'est découverte, l'eau (précédemment rencontrée par le tube susdit dans le Tertiaire, puis dans le Crétacé) ne reparaît plus, mais cette roche est *tellement fracturée* que le tube ne tarde pas à tomber dans une fente d'où surgit la source qui s'élève dans le forage. Puis le tube entre dans la roche compacte et toute affluence liquide est supprimée. Puis, nouvelle pénétration dans la roche crevassée et réapparition d'une source plus abondante que la première et s'élevant plus haut, etc.

Mais ce que M. Verstraeten escompte ainsi ne se présente guère, il le reconnaît, dans la réalité.

Ce sont, dit-il, les puits multiples de la contrée et les épuisements considérables des carrières qui en sont cause, et, à la suite de cette constatation, les carrières en question ont été longuement étudiées à ce point de vue par son collaborateur, M. François. Cet examen, dit M. Verstraeten, a fait naître les observations suivantes :

Les volumes débités (1) sont d'autant plus considérables que les carrières sont creusées *plus bas sous la flottaison de l'Escaut* et en sont *moins éloignées ;* ces débits sont *hors de proportion* avec ce que peut fournir la couche aquifère supérieure. Ils *varient fortement d'une saison à l'autre,* au moins pour les carrières peu distantes du fleuve, dont *les crues les influencent*. Les carrières se drainent l'une l'autre et assèchent les puits *à grande distance.*

La conclusion à tirer de là : c'est que ces excavations profondes ne sont pas seulement alimentées par les eaux de filtration de la zone considérée, mais par les EAUX COURANTES, VOISINES OU LOINTAINES, NOTAMMENT PAR LE FLEUVE, à l'aide de fissures, de crevasses développées qui s'*étendent* A DES DISTANCES PROBABLEMENT CONSIDÉRABLES *sous les fonds des vallées.*

(1) Certaines carrières profondes de la rive gauche, dont le débit a été jaugé par M. François, fournissent, quand on extrait au fond, jusque 9,000 mètres cubes par vingt-quatre heures (carrière du Cornet) et même 12,500 mètres cubes (carrière de Chercq). Dans plusieurs de celles de la rive droite, l'influence saisonnière se fait fortement sentir, montrant que la source d'alimentation dérive très directement soit du fleuve, soit des dépôts meubles recouvrant le plateau calcaire. Ainsi la carrière d'Allain fournit en été 8,000 mètres cubes et en hiver juste le *double;* la carrière du Boucher fournit par vingt-quatre heures en été 550 mètres cubes et 800 en hiver et la carrière Crèvecœur 7,000 mètres cubes l'été et 12,000 mètres cubes l'hiver.

D'autres carrières encore, situées le long de la route de Leuze, montrent dans leur débit d'été et d'hiver les mêmes divergences.

Digitized by Google

La VÉRITABLE conclusion à tirer de là *par un géologue*, est que les passages *ici soulignés* dans le texte de M. l'ingénieur Verstraeten suffisent, sans autre commentaire, pour montrer combien *sont*, ou *peuvent devenir*, *dangereuses* et en tout cas *peu recommandables* pour l'ALIMENTATION PUBLIQUE, les eaux contenues dans un massif calcaire parcouru de canaux de communication le mettant en si facile correspondance d'alimentation, tant avec les eaux du fleuve qu'avec les eaux superficielles. Il est encore à remarquer que celles ci, dans les bas niveaux et dépressions du sol, ne peuvent plus, avant de disparaître dans les crevasses et réservoirs du calcaire, être convenablement filtrées par les sédiments tertiaires et crétacés, localisés surtout vers les hauteurs. Nous voici bien loin aussi — fera observer le géologue, que le susdit texte met en présence de ce *système localisé d'eaux courantes souterraines* — de la nappe paisible, de qualités uniformes et constantes et d'imprégnation générale dont M. Verstraeten veut à tout prix doter les massifs calcaires crevassés, sans s'inquiéter de leurs différences de conditions géologiques et d'influences tectoniques.

L'embarras de notre honorable contradicteur devant certains faits, tout naturels pour celui qui a une notion exacte du régime hydrologique des calcaires, se décèle sans ambages, lorsqu'à propos de l'examen d'un nivellement hydrographique dressé par M. François pour la région étudiée, il ajoute, page 9 :

Dans la nappe ainsi représentée, il y a *des faits singuliers* sur lesquels il faut appeler l'attention. Les courbes de niveau accusent *trois entonnoirs complets creusés dans la couche aquifère :* la première au lieu dit Pic-au-Vent; la seconde à l'amont du faubourg Saint-Martin : la troisième entre ce faubourg et celui de Lille.

Ces dépressions annoncent évidemment autant de *drainages sous-jacents,* mais COMMENT et PAR QUOI ?

Si au centre de chacune d'elles se trouvait *un grand puits* d'où l'eau fût *constamment retirée,* il n'y aurait pas à chercher d'autres causes, mais RIEN DE PAREIL N'EXISTE.

Il n'est pas admissible que sous ces endroits on ait autrefois créé *des galeries* dont on ignorerait aujourd'hui l'existence; d'ailleurs de tels drains détermineraient d'autres effets et leurs produits iraient déboucher quelque part à ciel ouvert. La seule cause de ces phénomènes que nous puissions admettre réside dans les fissures de la roche calcaire qui, se ramifiant vers les *entonnoirs* cités, débouchent dans des carrières actuellement en exploitation. Alors tout s'explique, mais alors aussi nous tenons autant de preuves de la non-étanchéité absolue de l'assise inférieure du Crétacé, et il faut en conclure que ce même défaut se répète ailleurs en beaucoup de points. C'est, *selon toutes probabilités,* à ce fait que doit être attribué le peu de hauteur de la couche d'eau sur le Crétacé.

Le géologue, lui, j'en appelle à mes confrères de toute école, de tous pays, aurait-il éprouvé de telles perplexités, émis ces hypothèses de possibilité de galerie drainante, d'existence d'anciens puits et trouvé ces faits si *singuliers?* Aurait-il hésité *un seul instant* sur la signification à donner aux faits mis typographiquement en relief dans ma reproduction du texte

Digitized by Google

de M. Verstraeten? Évidemment non, car c'est une des CARACTÉRISTIQUES des régions rocheuses *calcaires* de tous pays que l'existence de ces *aiguigeois de plateau*, les uns mis au jour par affleurement au sol et absorbant tantôt des ruisseaux temporaires ou permanents, tantôt des eaux pluviales torrentielles ou de fonte de neige, les autres, sous-jacents à des recouvrements de dépôts meubles et aspirant, comme de voraces « puits perdus », leurs nappes et ressources aquifères.

Le *modus operandi* de l'alimentation des calcaires se trouve ici pris sur le vif par M. Verstraeten, grâce à ce qu'il appelle les « singularités » de son nivellement hydrographique. Et cependant l'ÉNORME PORTÉE du fait, au point de vue de la *qualité et des dangers de l'eau d'alimentation* prise, sans étude géologique approfondie, *en massif calcaire*, lui échappe complètement, de même que lui a échappé la dualité d'état qui, si souvent, distingue le régime hydrologique des calcaires fissurés de celui des dépôts meubles!

Nous avons vu, dans la première partie de ma réponse à M. Verstraeten, que, de même, la notion du *régime circulatoire localisé* invoqué par M. Rutot et moi dans notre bref exposé du 12 novembre 1895, lui a échappé aussi, puisqu'il ne veut, à aucun prix, admettre cet élément comme l'une des caractéristiques d'une partie du régime aquifère dans les calcaires.

Eh bien, dans cette même brochure de 1888, consacrée à l'examen des eaux de Tournai, M. Verstraeten, sans s'en douter, bien certainement, l'expose *très nettement*, sept ans avant nous; ce qui est assez piquant! En effet, à propos des *carrières* qui entament, à des profondeurs dépassant parfois 40 mètres, le massif de calcaire à Tournai et, en appréciant leur effet drainant sur le régime *actuel* des eaux souterraines, M. Verstraeten fournit un exposé dans lequel il n'y a qu'à considérer le drain profond fourni par la *carrière* comme l'équivalent — et tel est bien le cas — du drain fourni par une *vallée* à parois rocheuses calcaires et avec sources au thalweg. Grâce à ce parallélisme, parfaitement justifié, on arrive à faire fournir, par M. Verstraeten lui-même, une parfaite exposition du *régime circulatoire localisé* défini par nous tant en 1895, que tantôt dans les pages 396 à 399 du présent exposé. Voici, à l'appui de ce que j'énonce ici, le texte de M. Vertraeten (p. 10) dont je me borne à *souligner* quelques passages :

Et maintenant revenons aux carrières, en considérant particulièrement celles du voisinage de Tournai. Le pompage énergique qu'on y effectue (lisez : l'*action des sources du thalweg* des vallées rocheuses calcaires) soutire tout d'abord l'eau de la roche autour des excavations. Cette eau qui, sans l'épuisement, presserait de bas en haut la couche crétacée sus-jacente, s'abaisse donc; les fissures, les crevasses immédiatement au-dessous du Crétacé *se vident* et deviennent autant de *drains naturels* pour la *couche aquifère supérieure* qui pèse sur les lésions plus ou moins multipliées de cette roche. Pour que l'eau passe au travers du Crétacé par ses fissures si ténues, elle doit vaincre

Digitized by Google

des frottements notables, et il faut donc de la charge, une certaine épaisseur ou hauteur de couche d'eau.

L'élément liquide qui de la sorte a traversé le Crétacé, *tombe dans une crevasse vidée du Calcaire qui le conduit, après un parcours plus ou moins long, plus ou moins tourmenté,* vers les points de pompage (lisez : vers les sources du thalweg des vallées rocheuses calcaires).

Mais pour cheminer ainsi, l'eau subit encore une fois des frottements, résistances qui appellent de la charge, et il s'ensuit que *plus cette eau vient de loin, plus elle descend de haut :* de telle sorte qu'il se peut bien que *si les fissures de la roche calcaire sont* VIDES *et conséquemment* ACTIVES *dans le voisinage des carrières à épuisement, elles sont restées* PLEINES *et* PASSIVES *à quelque distance de ces centres de drainage.*

Est-il possible de mieux définir la dualité de caractère qui existe entre notre zone inférieure du *régime statique* A (voir la figure 1 de la page 396) et celle supérieure BA de notre *régime circulatoire localisé* (fig. 2, p. 399) ?

Au lieu de chercher à railler, en 1897, notre « conception hydrologique nouvelle » de novembre 1895, qu'il a lui-même si bien exposée dès 1888 pour le cas spécial de Tournai, M. Verstraeten aurait été mieux avisé en nous traitant de plagiaires inconscients, puisque à l'aide d'un léger démarquage consistant à remplacer *carrière* par *vallée* et *pompage* par *source*, nous n'aurions, en 1895, que réédité d'une manière plus générale le cas spécial si bien exposé par notre honorable contradicteur en 1888 !

Ce que l'on peut encore se demander, c'est comment il se fait que les *grandes variations* du degré hydrotimétrique et du dosage des matières organiques, rapportées sans grands commentaires par M. Verstraeten pour l'analyse des eaux de la vingtaine de carrières énumérées dans son tableau de la page 8, ne lui aient pas ouvert les yeux sur la *non-existence* d'une nappe générale d'imprégnation, et dévoilé au contraire la *division*, la *diversité* et la *localisation* des réserves aquifères des calcaires. Ainsi l'on voit le *degré hydrotimétrique varier de 26° à 37°* et le dosage de la *matière organique,* une seule fois abaissée à 18 milligrammes, varier de carrière en carrière de 20 à 24 milligrammes.

De telles variations plaident absolument en faveur de la *subdivision*, de l'*indépendance* et de la *localisation* des réserves aquifères du Calcaire.

L'exposé de M. Verstraeten, après une étude sur la qualité des diverses eaux souterraines de la contrée de Tournai, passe en revue les divers projets qui, écartant avec raison l'eau des ruisseaux et du fleuve, s'adressent d'une part à l'eau de source de la grande couche aquifère du Landenien et du Crétacé, d'autre part à l'eau du calcaire sous-jacent. Il signale deux positions qu'il *croit* plus favorables que d'autres pour l'établissement d'un puits à creuser dans le calcaire : soit à la cote 25, au sud et contre la ville, soit à Ramecroix, à la cote 40. Il prévoit des puits respectivement de 60 et 65 mètres de profondeur, continués horizontalement par des galeries de drainage de quelques centaines de mètres de longueur.

Digitized by Google

Je ne sais si M. Verstraeten s'est fait ici de grandes illusions sur les certitudes ou probabilités de débit de telles galeries creusées dans le cœur du massif calcaire à bancs réguliers, massifs et HORIZONTAUX, c'est-à-dire dans le dépôt, souvent compact et non fissuré en profondeur, qui dans les puits de l'*Asile des aliénés* et de l'*Hospice civil* a pu être foré sur respectivement *143 et 70 mètres d'épaisseur sans y trouver d'eau.* Mais ce que tout le monde constatera avec moi, c'est que si les grandes quantités d'eaux que renferment et déversent parfois *localement* les calcaires ont le don d'hypnotiser souvent les auteurs de projets, ceux-ci ne laissent pas que d'être assez embarrassés lorsqu'il s'agit de fournir l'assurance que dans ce type spécial de terrains aquifères, la *pratique* correspondra toujours à leurs théories, et encore laissons-nous ici de côté l'importante question de la *qualité* de ces eaux.

Je ne veux pour preuve de ces difficultés que la phrase ci-dessous de l'exposé de M. Verstraeten (pp. 12-13 de sa brochure de 1888, sur les eaux de Tournai), phrase dont la seconde partie doit certes le gêner quelque peu pour l'aider à étayer sa théorie sur l'unité du régime hydrologique en terrain rocheux calcaire et en terrain perméable meuble.

Quant aux eaux du Calcaire, ce qui en a été dit précédemment suffit à montrer les QUANTITÉS IMMENSES d'eau que *des puits convenablement percés* sont susceptibles de produire. De *règle de détermination préalable, il n'y en a pas :* LE TOUT DÉPEND du choix de l'endroit, *des crevasses occupées et de la profondeur à laquelle le puisage s'effectue.*

Mais, mon cher confrère et contradicteur, en est-il bien de même dans les dépôts meubles, si *aisément* et si *régulièrement bien drainés* par vous, à Bruxelles et ailleurs? Reconnaissez donc que la *pratique* vous force ici à abandonner vos théories d'unification à outrance des régimes hydrologiques et à vous ranger à l'avis des géologues que vous combattez. Ils n'ont pas dit autre chose, en effet, que ce qui constitue *votre aveu* ci-dessus reproduit, par lequel nous clôturerons l'examen des questions controversées en matière d'hydrologie des calcaires rocheux.

Passons maintenant à l'hydrologie de la craie.

Hydrologie de la craie.

Je demandais tantôt *où* M. Verstraeten a bien pu puiser sa conclusion que de la vue de grosses sources s'échappant de la craie en Hesbaye, j'aurais inféré l'existence de CAVERNES dans le voisinage?

Je réitère ici cette question et je mets M. Verstraeten au défi de trouver un texte où j'aurais parlé de *cavernes* en relations avec des sources dans l'une ou l'autre de nos craies de Belgique. Je n'ai jamais fait allusion

Digitized by Google

qu'aux fentes, aux canaux et aux cavités servant de réseau circulatoire aux eaux souterraines de nos massifs crayeux et aboutissant soit à des sources naturelles, soit à des débouchés artificiels, comme les galeries et les puits que j'ai maintes fois visités au sein de la craie sénonienne de Hesbaye.

De l'examen de ces sources et venues d'eau, je n'ai donc jamais, malgré l'importance de certaines d'entre elles, induit l'existence de *cavernes* dans nos massifs crayeux, et par conséquent mon honorable contradicteur aurait pu s'éviter la peine de *repousser* la validité d'*une induction* qui n'a jamais existé, pas plus sous ma plume que dans ma pensée. Il aurait pu aussi s'épargner la démarche assez puérile de demander gravement à M le Directeur du service des eaux de Liége, s'il existe des *cavernes* dans la craie du massif drainé par les galeries! J'ai visité celles-ci naguère et me serais empressé de signaler de telles cavernes si elles y existaient.

Mais j'ai peut-être le tort de toujours perdre de vue qu'avec M. Verstraeten ce n'est pas dans le domaine *des faits* qu'il faut rechercher les éléments de sa controverse ni de la discussion scientifique !

Mais voyons maintenant quelles sont *ses réelles erreurs* d'appréciation, à lui, au sujet de la craie, de ses fentes, de ses cavités et de ses eaux. M. Verstraeten dit, pages 93-98 :

> Sans doute peut-il se créer des cavités importantes et persistantes dans la craie, mais c'est à la condition qu'elle soit *résistante et dure*. Or, *tel n'est pas* CHEZ NOUS *le caractère habituel de cette roche*. Presque toujours elle est tendre, elle cède avec facilité aux moindres efforts d'écrasement, et pas un ingénieur ne risquerait la construction d'une « caverne » avec les matériaux qu'elle fournit.

Si M. Verstraeten avait pu m'accompagner dans mes courses de levé de la Carte géologique détaillée de la région à sous-sol crétacé qui s'étend, principalement au nord de la Meuse, depuis Waremme jusque Tongres et qui est bordée au nord par le cours du Geer supérieur, il saurait qu'il existe, au moins dans ces régions étendues de la Hesbaye, des niveaux d'eau *localisés* en horizons paraissant multiples et variables, circulant dans des réseaux formant, au milieu de la masse crayeuse environnante, souvent peu aquifère, de véritables plans d'eau en circulation aquifère et sous pression. Ce qui maintient ainsi *localisées* ces nappes et les différencie de la nappe générale d'imprégnation, parfois réduite à presque rien dans certaines parties massives et peu fendillées du massif crayeux de la région considérée, c'est un facteur qui n'a pas été rencontré dans la région à craie plus homogène des galeries liégeoises.

Je veux parler de ces bancs durs et concrétionnés, à ciment siliceux et aussi parfois à nodules phosphatiques, que l'on appelle dans la région considérée la *tawe*. Les puisatiers de la partie occidentale et septentrionale du massif crayeux de la Hesbaye n'ont de meilleures ressources pour leurs

Digitized by Google

travaux ni de pire ennemi pour leurs outils que les *bancs tabulaires, continus* et *résistants* de la TAWE. Aussi quand ils arrivent au fond d'un puits ayant traversé la craie tendre et peu ou point aquifère (1), ils savent que presque toujours, après avoir vaincu cet obstacle, quand il existe, ils obtiendront l'eau en abondance. Le jaillissement est subit et témoigne de la pression de la nappe locale ainsi formée, qui, descendant au nord avec l'inclinaison générale des couches, constitue un véritable niveau artésien. Cette pression hydrostatique est telle que bien souvent après le bris ou la fracture de la *tawe*, les puisatiers doivent remonter aussi précipitamment que possible sous peine de noyade, accident qui est déjà arrivé.

Les *tawes* de notre massif crétacé de la rive droite du haut Geer et des plaines plus au sud (où on les rencontre parfois dans les exploitations de phosphate, mais plus rarement alors dans les mêmes conditions stratigraphiques et hydrologiques) sont identiques dans leurs caractères aux niveaux superposés de *tuns* de la région de Lille, si bien décrits par M. J. Gosselet dans leurs propriétés et localisations aquifères de même nature et caractère (2) que nos *tawes* de la Hesbaye.

C'est de ces nappes distinctes et superposées, localisées tantôt sous un banc de *tun*, ou englobées entre deux *tuns*, ou encore reposant sur d'autres bancs durs, tels que ceux appelés *meules* à Emmerin, par exemple, nappes toutes bien distinctes de la nappe générale d'imprégnation de la craie blanche fendillée; c'est de telles eaux, dis-je, que M. le professeur Gosselet fait remarquer, dans ses leçons de géologie, que « l'existence de » ces nappes aquifères superposées est souvent une cause d'étonnement » pour les personnes qui ne sont pas au courant de la structure géolo- » gique du sol ».

C'est d'elles aussi qu'il dit ailleurs (3), après les avoir successivement

(1) Si M. Verstraeten ignore qu'il y a parfois dans nos massifs de craie blanche des massifs compacts et non fissurés, pour ainsi dire absolument dépourvus d'eau, je lui signalerai l'observation très précise faite dans le même sens par Belgrand lors du forage qu'il fit exécuter naguère à la Butte-aux-Cailles. Il y trouva, *sur 10 mètres* environ de profondeur, une couche de craie tellement compacte qu'on put la traverser sans épuisement; mais au-dessous de la cote — 10 mètres, il rencontra une fissure d'abord imperceptible qui, dans un parcours de *10 mètres*, donna une quantité d'eau telle qu'on dut renoncer à l'épuisement et continuer le travail à la sonde. (*Hydraulique agricole* et *génie rural*, par A. DURAND-CLAYE, t. I, Paris, 1890, pp. 285-286.)

(2) *Leçons sur les nappes aquifères du nord de la France*, professées par M. J. GOSSELET à la Faculté des sciences de Lille en 1886-1887. Voir : *Annales de la Société géologique du Nord*, t. XIV, 1886-1887, pp. 249-306. Voir aussi la reproduction de ces Leçons dans le tome II (1888) du *Bulletin de la Société belge de géologie*.

(3) *De l'alimentation en eau des villes et des industries du nord de la France*, par J. GOSSELET. Réédition d'une conférence de géologie appliquée donnée par l'auteur à la Société géologique de France. (ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD, t. XXVIII, 1898, pp. 272-294.)

Digitized by Google

décrites, qu'il était bon d'*insister* sur ces nappes des régions de l'Escaut et de la Somme « pour montrer qu'il peut y avoir dans la craie *plusieurs* » *nappes superposées*, pouvant fournir des quantités d'eau considérables ».

Ceci paraît être une réponse topique, préparée d'avance pour M. Verstraeten qui, ignorant l'action isolante toute spéciale des *tawes*, des *tuns* et des *meules*, et la *mise en pression* des eaux localisées qu'ils réfrènent et isolent, déclare en toute sérénité, en se basant uniquement sans doute sur ce qui passe dans la région des galeries liégeoises, qu'il n'existe dans la craie de Hesbaye qu'une seule et même *couche aquifère générale et ordinaire*.

Dans le nord de la France, comme en Hesbaye, nous trouvons donc en réalité des niveaux relativement minces, mais assez continus de craie, plus que « dures et résistantes », de véritables bancs rocheux à ciment siliceux, éprouvant l'outil à la percussion presque autant que nos quartzites primaires, du moins en Hesbaye, et sous le niveau de résistance desquels se sont creusés dans la craie, plus tendre et fissurée, sous-jacente, des chenaux importants, qu'élargit sans cesse le phénomène de corrosion dû aux agents dissolvants de l'eau.

La réunion et l'entre-croisement de ces canaux et fissures forment un véritable lacis aquifère, ou plan d'eau, maintenu *sous pression* sous ces plafonds résistants par suite de l'inclinaison générale des couches vers le nord et pourvu par conséquent d'une *force ascensionnelle*, augmentant graduellement vers le nord, où on l'observe fort bien, par exemple dans le fond du sillon d'érosion du Haut-Geer, où cette force ascensionnelle donne lieu à ce qu'on est en droit d'appeler de véritables *eaux artésiennes*.

Si M. Verstraeten ne connaît pas les *tawes* de notre craie de Hesbaye et leurs propriétés et caractères aquifères, il paraît ne guère connaître non plus les profonds et solides puits non maçonnés, — véritables cavernes artificielles, sans clef de voûte encore, — creusés par milliers au sein de la craie blanche sénonienne de la région du Geer, craie qu'il s'imagine être toujours et partout « tendre et friable et cédant avec facilité aux moindres efforts d'écrasement ». A l'inspection de leurs parois, s'il y était, comme moi, maintes fois descendu en toute sécurité, il aurait sans doute changé d'avis et senti ses craintes s'évanouir. Mais nombreuses sont aussi les grandes et spacieuses *caves* véritables, creusées en plein massif de craie blanche sénonienne dans bien des villages de la Hesbaye pour la conservation des provisions et réserves d'hiver. Ce sont bien là des cavernes cependant, à voûtes crayeuses ou à piliers espacés, ouvertes sans crainte dans le massif crayeux, à l'instar d'ailleurs de ce qui se fait en grand dans le sous-sol crayeux de la Champagne, à Reims par exemple, où les immenses celliers à vin, établis souterrainement dans des roches identiques comme âge et comme nature à notre craie blanche sénonienne, font l'admiration et l'étonnement des touristes que l'on promène dans des 1,200 à 1,500 mètres de galeries ou grottes à voûtes crayeuses élevées.

Digitized by Google

Quant à nos misérables ancêtres néolithiques de Spiennes, dans le Hainaut, ils n'avaient pas, eux non plus, prévu l'opinion pessimiste de M. Verstraeten sur le peu de solidité de la craie, qui lui fait dire que « pas un ingénieur ne risquerait la construction d'une *caverne* avec les matériaux que fournit la craie ». Ils ont bravement, en effet, se passant d'architecte et d'ingénieur, ouvert des puits et des galeries parfois assez étendues, ayant jusque 2 mètres de haut et 2m,50 de large, dans la craie blanche dite de Spiennes, à silex gris brun, et, sans aucune mesure de précaution, ces primitifs ouvriers mineurs allaient ainsi hardiment chercher les rognons de silex dont ils avaient besoin pour confectionner leurs outils, sous 9 à 11 mètres du sol (1), par des puits et au sein de galeries non encore éboulées aujourd'hui après 50 à 60 siècles, et creusées au sein du massif crayeux. On a estimé de 20 à 25 *hectares* l'espace fouillé et rempli de *grottes préhistoriques* dans le massif crayeux du célèbre atelier de fabrication de Spiennes.

Mentionnons encore le *trou des Sarrasins* de Ciply, creusé dans un massif faillé qui, à une vingtaine de mètres de l'entrée, fait rencontrer la craie blanche de Spiennes derrière la craie phosphatée. Le but de ces galeries, longues et continues, établies dans le massif de Ciply, était le même qu'à Spiennes, et leur âge est également néolithique. Il eût suffi à M. Verstraeten d'ouvrir par exemple un ouvrage classique et bien connu sur la géographie du Hainaut, tel que le *Dictionnaire géographique* de Van der Maelen (Bruxelles 1833) pour s'y documenter comme suit sur la possibilité de voir des salles et des galeries importantes se maintenir dans la craie depuis *au moins* 5,000 et peut-être 6,000 ans.

Cette excavation, dit, en parlant du Trou des Sarrasins, le Dictionnaire précité (volume du Hainaut, p. 128), a une étendue de 12 à 1,500 mètres carrés : elle est formée d'*une suite de galeries, chambres ou salles*, séparées par d'énormes piliers destinés à soutenir les voûtes; *la hauteur de ces salles* est *ordinairement de 3 à 5 mètres*, guère au delà.

Lorsque, dans les temps modernes, on a utilisé le Trou des Sarrasins de Ciply pour l'extraction des silex employés en faïencerie, les déblais et travaux ont amené la découverte dans ces galeries préhistoriques et tout comme dans celles de Spiennes, d'outils en corne de cerf et de silex

(1) C. Malaise, *Sur les silex ouvrés de Spiennes*. (Bull. Acad R. Sciences de Belg., 2e série, t. XXI, 1866, n° 2, pp. 154-163) Voir spécialement pages 162-163 (âge erronément rapporté au paléolithique .

A. Briart, F. Cornet et A. Houzeau de Lehaie, *Rapport sur les découvertes géologiques et archéologiques faites à Spiennes en 1867*. (Mém. et Public. Soc. des Sciences, etc., du Hainaut, 3e série, t. II, 1868.)

F. Cornet et A. Briart, *Sur l'âge de la pierre polie et les exploitations préhistoriques de silex dans la province de Hainaut* (Compte Rendu du Congrès intern. d'anthropologie et d'archéologie préhist., 6e session, Bruxelles, 1872, pp. 279-299, pl. 29 et 30.)

Digitized by Google

taillés abondants, et la preuve a ainsi été fournie de la haute antiquité de ces « grottes » préhistoriques.

Et ce n'est pas seulement dans la craie du Hainaut que l'on trouve ces antiques galeries, ces grottes artificielles non écroulées en général, après de si longs siècles. La *craie de Hesbaye* en fournit également un contingent, de même nature et de même âge. Il suffit, pour s'en assurer, de consulter les *Annales de la Société d'archéologie de Bruxelles* (1), qui contiennent un intéressant travail de M. le b^on^ *Alfred de Loë*, d'après lequel il existe à *Avennes*, sur la Méhaigne, « un centre important d'extraction et de taille du silex à l'époque néolithique, représenté par de nombreux puits mis en communication les uns avec les autres par *tout un réseau de galeries souterraines* » creusées dans la craie blanche. Ces galeries, établies dans une craie blanche terreuse, douce au toucher et dont la facilité d'écrasement et d'effritement eût certainement excité les craintes architecturales de M. Verstraeten, n'en sont pas moins depuis 50 à 60 siècles, restées parfaitement intactes et accessibles. Hautes de 0^m^80 à 0^m^90, elles atteignent par place une portée de 1^m^65, et il a été facile aux explorateurs, après les avoir vidées de leurs éléments de remblayage partiel ancien, de les suivre sur une certaine longueur.

Dans la même région, d'autres cavités analogues, appelées *trous des Nutons* par les ouvriers, s'observaient à une profondeur de 4 à 5 mètres sous le sol ; elles avaient environ 1 mètre de hauteur sur 2^m^50 et 3 *mètres de largeur*. Enfin, à Meeffe et à Braives, on a retrouvé les mêmes « grottes » préhistoriques, partout creusées sans crainte dans cette craie du massif hesbayen qui, dit M. Verstraeten, est presque toujours chez nous si tendre « qu'elle cède avec facilité aux moindres efforts d'écrasement et que pas un ingénieur ne risquerait la construction d'une « caverne » avec les matériaux qu'elle fournit ».

L'absence à Avennes des pics (?) triangulaires en silex, si abondants dans les exploitations préhistoriques de Spiennes et de Ciply, fait croire à M. A. de Loë que les puits et galeries d'Avennes, qui lui ont fourni de nombreux silex taillés néolithiques : nucleus, haches, lames, etc., auront sans doute été creusés uniquement avec la *pioche* en *bois de cerf* et, comme on le voit, les « ingénieurs » primitifs de ces temps reculés ne craignaient donc pas d'ouvrir dans cette craie si tendre de Hesbaye des « grottes » ayant jusque 3 mètres de portée. Il faut convenir que les allégations de M. Verstraeten sur la résistance et la cohérence de nos craies belges se trouvent ainsi singulièrement battues en brèche !

Evitons toutefois d'exagérer la portée de ces faits ... de même que la

(1) Baron A. DE LOË. *Découverte et fouille de puits et de galeries préhistoriques d'extraction de silex, à Avennes (province de Liége)*. (ANNALES DE LA SOCIÉTÉ D'ARCHÉOLOGIE DE BRUXELLES, t. VIII, 3e livr., 1894.)

Digitized by Google

solidité des voûtes crayeuses dans les excavations souterraines, car M. Verstraeten pourrait tenter de nous rendre responsable de la mort de ce malheureux mineur préhistorique d'Obourg, dont M. Ém. De Munck (1) a retrouvé le squelette complet accompagné d'outils en bois de cerf, enseveli par un éboulement dans une de ces galeries creusées par lui dans un autre niveau de craie du Hainaut : la craie d'Obourg à silex noirs.

Je couvrirai toutefois ma « responsabilité » en faisant alors remarquer à mon honorable contradicteur que les mineurs préhistoriques de la région d'Obourg exploitaient principalement cette craie par le système des tranchées ouvertes, assez rarement mises en communication par des galeries souterraines, peu développées. Dans le cas si curieux décrit par M. De Munck, un coup de pic de la victime avait rencontré à la voûte un bloc de silex qu'il a déplacé et au-dessus duquel s'ouvrait un *puits naturel* sableux, dont les sédiments meubles ont alors accidentellement démantibulé la voûte et envahi la galerie où ils ont étouffé le mineur préhistorique, dont on a retrouvé le squelette entouré de blocs crayeux descellés de la voûte et de sable écoulé du puits. La galerie crayeuse n'est donc nullement, par un fait d'écroulement *initial*, cause de sa mort.

Pour remettre la question mieux au point que dans cette petite incursion préhistorique *à côté* du point en litige, je dois faire remarquer que, dans la craie, la stabilité des cavités, grottes et caves *artificiellement* ouvertes par l'homme est souvent très compromise par le *mode d'attaque*, qui est la PERCUSSION et le CHOC, actions qui, par elles-mêmes, amènent la fissuration puis l'écroulement. Mais il n'en est plus de même dans le processus *lent et graduel* de l'agrandissement, par voie de *corrosion chimique*, des fentes, fissures et canaux parcourus par une circulation ininterrompue d'eau munie de pouvoirs dissolvants et agissant, par conséquent, sans chocs ni percussion, pouvant troubler la stabilité des cavités creusées en canaux disposés plutôt *en hauteur*, conformément d'ailleurs à l'allure générale des diaclases qui en sont l'origine.

Dans la craie de Hesbaye, je n'ai jamais rencontré de grottes ni de cavernes naturelles, et je pense qu'il ne s'y trouve guère que des canaux et des fissures élargies pouvant, dans certains cas, atteindre peut-être la dimension de *petits* couloirs étroits de cavernes, mais accessibles à de très fortes venues d'eau.

Dans la craie du Hainaut, il doit en être de même, d'après ce qui a été signalé au sein des massifs crayeux traversés lors de l'ouverture de puits de mine. Si M. Verstraeten interrogeait quelques anciens directeurs ou ingé-

(1) Voir compte rendu de la septième session de la Fédération archéologique et historique de Belgique. *Congrès archéologique et historique de Bruxelles* (1891). Séance du 5 août 1891 de la première Section. Communication de M. *Ém. De Munck*, pp. 250-252.

Digitized by Google

nieurs de mines du Hainaut, ayant eu à lutter naguère contre les terribles venues d'eau, parfois déversées à flots par le terrain crétacé, il changerait peut-être d'avis sur les dimensions à accorder à certains canaux aquifères de la craie. Notre vénéré et savant confrère M. l'ingénieur *G. Lambert* serait particulièrement en mesure, je crois, d'édifier M. Verstraeten sur ce point et de lui faire abandonner sa thèse d'après laquelle nos massifs crayeux belges seraient « simplement subdivisés par une infinité de *fissures minces* ».

Je me crois fondé à croire que M. Rutot et moi avons été beaucoup plus près de la vérité dans la conception du régime et du *dispositif* aquifères de la craie, quand nous nous sommes bornés, page 250 de notre Étude sur les galeries liégeoises, à parler

des crevasses et des fentes de la craie qui, grâce à la dissolution facile de la craie par les eaux en mouvement, peuvent s'élargir facilement et s'anastomoser en un véritable réseau où l'eau coule en ruisselets et en veines liquides à écoulement rapide.

Mais il y a une erreur que nous avons réellement commise, en 1887, M. Rutot et moi, dans notre exposé relatif aux galeries liégeoises, et je m'empresse de la reconnaître ici, heureux de montrer ainsi l'absence de tout parti pris d'amour-propre dans mon exposé.

Cette erreur est même double, car dans la phrase suivante, justement incriminée par M. Verstraeten, il y a, outre une erreur de mots (*lapsus* probable d'ailleurs, échappé à la correction typographique), une erreur plus sérieuse d'appréciation, qui réclame une rectification de notre part.

Nous disions, page 250, de notre Exposé :

Outre le niveau aquifère accentué *de la surface* de la craie, baignée par l'épaisse nappe arrêtée par l'argile hervienne, il est un autre niveau où la venue d'eau est également fort abondante. C'est la zone glauconifère, un peu sableuse ou grenue, qui recouvre immédiatement l'argile hervienne et qui forme la base de la craie blanche.

C'est ce niveau, où la venue et la circulation de l'eau sont facilitées par une plus grande perméabilité de la roche, qui fournit, surtout à l'ouest et au nord-ouest des plateaux qui dominent Liége, la nappe artésienne d'un certain nombre de puits favorablement situés.

En écrivant la première ligne du premier paragraphe ci-dessus, nous ne pouvions, la simple raison l'indique, avoir en vue dans les mots en italique, la *surface* du MASSIF de la craie, suivant la déduction de M. Verstraeten. Nous visions les *surfaces internes*, celle des FENTES et fissures de la craie, baignées par la nappe aquifère, et il eût été plus clair, plus correct, j'en conviens, de parler du niveau aquifère accentué, non de la surface, mais de *la masse* de la craie.

Mais ce qui constitue une réelle erreur de notre part, c'est d'avoir attribué à la ZONE SABLEUSE de *la base de la craie*, sous laquelle se trouve l'argile imperméable hervienne, ce que nous appelions la *nappe artésienne*

Digitized by Google

d'un certain nombre de puits favorablement situés à l'ouest et au nord-ouest des plateaux dominant Liége.

En réalité, la zone sableuse de la base de la craie n'a rien à voir avec ce niveau d'eau, qui, mes explorations pour le levé de la Carte géologique me l'ont renseigné ultérieurement, est tout simplement constitué par les eaux « jaillissantes » dont il a été question tantôt, que l'on rencontre, souvent localisées au sein de la craie blanche, et sous pression, maintenues par les couches plus ou moins continues et imperméables de la *tawe* intercalée à divers niveaux au sein du massif crétacé dans certaines parties du plateau hesbayen.

Si M. Verstraeten a protesté contre le qualificatif d'*artésiennes* que nous avons donné aux eaux qui jaillissent brusquement et en grande abondance au-dessus de la *tawe* percée, pour venir s'équilibrer parfois à de grandes hauteurs au-dessus, alors que la craie sus-jacente ne renfermait pas d'eau, c'est probablement parce que les données du problème étaient mal présentées par nous. Des eaux qui, comme nous l'admettions en 1887, eussent été obtenues de la base du massif d'imprégnation générale de la région des galeries et du nord de Liége et qui eussent été simplement plus abondantes au niveau sableux glauconifère de la base de la craie, ne pouvaient, en effet, avoir rien d'artésien. Mais il en est tout autrement des eaux localisées et *sous pression*, refrénées et emprisonnées par le plan incliné *imperméable* de la TAWE, eaux artésiennes que nous avions *en vue* mais dont nous avions, en 1887, *méconnu la véritable origine*. En ce qui concerne ces eaux, je persiste absolument à les qualifier d'*artésiennes*, et ce notamment sur l'autorité de M. le professeur Gosselet, dont la compétence en la matière me paraît difficilement discutable.

Dans ses Leçons sur les nappes aquifères du nord de la France (*loc. cit.*), M. Gosselet, parlant des *puits artésiens*, dit qu'ils ont pour but d'aller chercher une nappe aquifère dont l'eau *s'élève plus haut que le point où on la rencontre*, et, à ce sujet, le savant professeur ajoute que la dénomination de puits artésien, telle qu'elle s'applique vulgairement à ceux de ces sondages où le liquide jaillit au-dessus du niveau du sol, *n'a rien de scientifique*. C'est cependant cette dernière qu'adopterait M. Verstraeten s'il persistait à contester aux eaux jaillissantes de dessous la *tawe* l'appellation d'eaux artésiennes.

Dans sa *Conférence* donnée le 11 juin 1900 à la Société géologique de France *sur le captage et la protection des sources d'eaux potables*, M. *Léon Janet*, ingénieur au corps des mines de France (1), fait observer que le nom de *nappes artésiennes* peut être mal compris, parce qu'on le réserve

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 3e série, t. XXVIII, 1900, n° 5, pp. 532-548. Voir aussi la *discussion* qui a suivi, pp. 548-552.

Digitized by Google

souvent aux nappes susceptibles de donner un *jaillissement*. Tout en signalant comme préférable l'emploi de l'expression *nappes ascendantes* pour toutes celles indistinctement dont l'eau s'élève au-dessus de ses gisements dès qu'on a percé la couche imperméable supérieure, il se déclare disposé à adopter l'expression de *nappe captive*, nom proposé par M. *Boursault* et qui a l'avantage d'englober le cas où, retenue localement par la compacité accidentelle d'un massif empêchant l'eau de regagner son niveau piézométrique, elle y remonte brusquement, grâce à une fissure, par exemple.

Conclusions fournies par les deux premiers chapitres de l'annexe.

Si l'on récapitule maintenant ce qui précède, on reconnaîtra que pour l'hydrologie des terrains crayeux, aussi bien que pour celle des calcaires rocheux fissurés, il faut, AVANT TOUT, tenir compte de la *diversité des conditions géologiques*, et c'est certainement là une base d'appréciation qui a manqué souvent aux conceptions, d'un caractère trop général et rarement opportunistes, de M. Verstraeten, et c'est ce qui l'a fait s'égarer dans ses thèses d'unification, *absolument injustifiables*.

De même que le régime hydrologique des calcaires primaires restés en bancs réguliers et non fracturés donne lieu, pour les couches ou réservoirs aquifères souterrains, à des dispositions différentes suivant que ces bancs sont restés horizontaux ou sont obliques, et aussi suivant leur structure et degré de compacité; de même que le degré de contournement, de plissement et de fracturage tectonique de nos bassins de calcaires primaires belges, et de même enfin que la nature, la structure et le degré de tassement, de fendillement, d'origine et de composition de leurs couches donnent lieu à des *diversités considérables* dans le régime aquifère local ou régional et dans les caractères hydrologiques de ces massifs : de même aussi l'eau ne se conduit pas dans la craie partout de la même façon, et ce sont là des données *primordiales*, qui paraissent avoir échappé complètement à mon honorable contradicteur.

Ainsi dans les parties centrales du vaste massif crétacé du bassin de Paris, il semble, d'après des constatations récentes, qu'il n'existe *parfois* qu'un réservoir unique d'imprégnation ; les eaux n'y paraissent point partout localisées par zones ni par niveaux distincts. Il en est tout autrement, nous l'avons vu, dans le nord de la France, où M. Gosselet a nettement montré qu'une absolue *localisation* est la règle générale des couches aquifères, séparées et superposées au sein de la craie, où retenues par divers niveaux de craie durcie et concrétionnée, connus sous le nom de *tuns*, elles deviennent jaillissantes lorsqu'elles sont artificiellement libérées par forage.

Digitized by Google

C'est la même localisation des réserves aquifères, constatée dans la craie des régions du nord-ouest de la Hesbaye qui donne lieu, dans la contrée au sud du Haut-Geer, aux belles veines et aux circulations liquides localisées qui se montrent en relation avec nos *tawes*.

Enfin, cette même localisation des cavités et des réseaux aquifères, dans certains niveaux seulement de la craie, s'observe également d'une manière frappante dans le bassin de Londres (1), et l'on est en droit de s'étonner que M. Verstraeten ne soit pas mieux au courant de ces données pratiques bien connues.

Il aura sans doute trouvé plus facile, étant donné ce fait réel que le phénomène de localisation des réseaux aquifères de la craie du Haut-Geer diminue d'intensité et disparaît même vers la région des galeries alimentaires de Liége, de nier simplement ces diverses manières d'être des réserves aquifères de la craie. Cependant le bassin de Londres, le bassin de Paris et le département du Nord fournissent des exemples connus de cette diversité de caractères, si opposée à la thèse d'unification et d'existence universelle de massifs d'imprégnation générale, défendue par M. Verstraeten.

(1) Voir les suggestifs détails fournis, après visite sur les lieux, par M. l'ingénieur *P. Van Ysendyck* dans son *Compte rendu de la Session annuelle extraordinaire de 1899 de la Société belge de géologie dans le bassin de Londres et dans la région du Weald.* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOLOGIE, t. XIII. 1899, *Mém.* pp. 267-306.) Voir spécialement, pages 285-289, le compte rendu des cinquième et sixième journées, signalant les travaux de la *East London Water Work C°* qui, au *Lea Bridge Station*, a fait creuser dans la craie blanche supérieure un puits descendu à 200 pieds sous le sol. Toute une série de galeries rayonnantes horizontales, subdivisées à leur tour, s'embranchent au fond de ce puits. Le but et l'espoir d'un tel genre de travail est de rencontrer dans la craie, ici assez compacte et peu fissurée, et ne fournissant guère qu'un peu d'eau de suintement, une heureuse *fente aquifère* pouvant ultérieurement remplir tout le réservoir ainsi créé.

Parfois le système réussit. Au puits du *Lea Bridge Station* on a vainement, à cette profondeur de 200 pieds, cherché une crevasse aquifère et, après avoir créé un développement de plus d'*un demi-kilomètre* de galeries crayeuses ne produisant guère que de l'eau de suitement ou des venues insuffisantes, il fallut se reporter à une quinzaine de mètres *plus haut* dans le massif crayeux. A 150 pieds du sol un nouveau dispositif rayonnant de galeries horizontales fut creusé et, après l'obtention d'un second réseau de 670 mètres de galeries, on tomba enfin sur la fissure aquifère tant cherchée. L'eau est alors remontée à 35 pieds du sol, remplissant les deux réservoirs superposés, et le débit peut dépasser 13,000 mètres cubes par vingt-quatre heures. La fissure rencontrée après tant de recherches en divers sens, n'était donc qu'une *rivière souterraine* circulant, localisée, au sein du massif crayeux.

On voit combien ce régime aquifère *localisé* de la craie du bassin de Londres s'accorde peu avec la thèse généralement appliquée par M. Verstraeten à tout terrain fissuré : crayeux ou calcaire rocheux.

Digitized by Google

Les régions calcaires de Han-Rochefort et celles du Bocq et du Hoyoux, par rapport à l'opinion des « maîtres de la science » sur le régime aquifère des calcaires. Arguments supplémentaires fournis par la région de Remouchamps.

Il a été dit plus haut que le texte de la seconde partie de l'exposé fait par M. Verstraeten, à la séance du 11 mai 1897, n'a pas été joint par l'auteur au document présenté par lui pour l'impression dans notre *Bulletin*. Cette seconde partie était intitulée : *Opinion des « maîtres de la science » et rôle de l'ingénieur en matières hydrologiques*. On la trouve exposée tout au long dans la version primitive et complète de sa « *Réponse à MM. Rutot et Van den Broeck* », que M. Verstraeten a fait imprimer dans les *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand* (t. XXI, 1re livraison de 1898).

La suppression de cette partie du texte de mon honorable contradicteur dans la version destinée à notre *Bulletin*, prouve que l'auteur a jugé qu'elle ne serait pas à sa place dans un recueil spécialement géologique... et nous ne pouvons que partager cette manière de voir.

Si, dans l'intérêt scientifique du débat engagé, je réponds ici non aux personnalités, mais à la thèse qui s'y trouve défendue, c'est que je considère comme un devoir de ne rien négliger pour apporter la lumière dans les questions controversées dans ce domaine si important des applications pratiques de l'hydrologie des calcaires et dans la mise en relief du rôle prépondérant qu'y doivent jouer les études et les connaissances géologiques.

En dehors de ces querelles de mots et de certaines confusions assez étonnantes dans l'interprétation des phrases et des extraits fournis par nous, d'après les maîtres de la science, tout ce que l'on trouve comme *argument* dans la revue critique que fait M. Verstraeten des textes et des passages des géologues et des spécialistes cités par nous, peut se résumer ainsi :

Tous les textes cités sont relatifs à l'*étranger* et même à des régions *lointaines;* ce que disent et ce que pensent ces auteurs du mode de circulation des eaux dans les massifs calcaires ne concerne donc pas le débat. Ont-ils parlé, ces auteurs qu'on m'oppose, ont-ils seulement connaissance *des régions calcaires du Hoyoux et du Bocq* d'une part, et *de la région Han-Rochefort*, d'autre part ?

Non, assurément. Eh bien alors, ce qu'ils disent de la circulation de l'eau dans les calcaires ne signifie rien dans le présent débat, localisé

Digitized by Google

à des régions déterminées, débat dont j'entends cependant généraliser les conclusions.

Ce raisonnement, mon honorable contradicteur l'a trouvé si commode, si péremptoire, qu'il l'a complaisamment reproduit *une demi-douzaine de fois* (voir pp. 22, 24, 26, 28, 29 et 31 de l'extrait du travail de Gand) dans son exposé critique, dont il constitue d'ailleurs le principal *Leitmotif*.

Signaler ce procédé de discussion me dispense largement de relever point par point — ce que je suis cependant prêt à faire ultérieurement — la phraséologie et les « arguments » de M. Verstraeten, qui tient absolument, semble-t-il, à faire mettre *hors la loi universelle de l'hydrologie des calcaires*, les massifs calcaires belges précités.

Mais ces régions du Bocq, du Hoyoux et de Han-Rochefort, voyons un peu, en conscience, si par un élément *quelconque* elles se différencient des divers cas universellement reconnus au sein des calcaires.

Pour ce qui concerne la région Han-Rochefort, il suffit, pour obtenir une réponse péremptoire à la question ici posée, de parcourir la superbe *monographie* que M. *Éd. Dupont* (1) a publiée dans notre *Bulletin* sur cette région calcaire. On y constatera sans peine que les cheminements souterrains, les localisations, pertes et réapparitions, sous formes de sources, d'eaux courantes et de bien d'autres phénomènes encore : aiguigeois, chavées ou vallées sèches, etc., constituent une merveilleuse illustration, en Belgique, pour ces calcaires devoniens, de tout ce que les maîtres de la science ont dit et exposé du régime aquifère des calcaires.

De même, cette conclusion nous est confirmée par l'excellent compte rendu fait par M. le commandant *J. Willems* de notre session extraordinaire de 1893 (2), consacrée à l'hydrologie des calcaires belges.

Cet auteur montre (pp. 300-338), d'accord avec l'exposé de M. Dupont, que la région calcaire de Han-Rochefort constitue *un véritable type classique*, fournissant de multiples exemples des données exposées par les géologues éminents que M. Rutot et moi avons eu la satisfaction de pouvoir citer à l'appui de nos vues.

Paraissant ignorer ou négligeant simplement l'*accord général* d'idées professées par ses divers contradicteurs et toutes en opposition, dans *leurs éléments essentiels*, avec sa thèse à lui, M. Verstraeten s'attache à mettre dans un relief exagéré certains *points accessoires* de divergences, n'ayant, en réalité, guère de portée ou *aucune influence* sur le fond du débat.

(1) Éd. Dupont, *Les phénomènes généraux des cavernes en terrains calcareux et la circulation souterraine des eaux dans la région Han-Rochefort*. (Bull. Soc. belge de Géol., de Paléont. et d'Hydrol., t. VII, 1893, pp. 190-297, pl. XII et XIII, et fig. 8.)

(2) J. Willems, *Compte rendu de la Session extraordinaire de 1893, du 4 au 9 août*. (Bull. Soc. belge de Géol., de Paléont. et d'Hydrol., t. VII, 1893, pp. 298-378, 2 planches et 17 figures.)

Digitized by Google

Et il conclut hardiment que les géologues sont *profondément divisés* dans leur manière de comprendre le régime aquifère des calcaires. Et il en conclut aussi que si certains se sont trompés en quelques points au sujet desquels M. Rutot et moi pensons autrement que d'autres, en Belgique..., c'est *nous* qui *devons* avoir tort!

De ce que M. Dupont, par exemple, généralise un peu trop, assurément, ce qu'il a vu et *bien vu* dans la région de Han-Rochefort, c'est-à-dire l'absence de nappes générales d'imprégnation dans ces calcaires devoniens; de ce qu'il fait jouer un rôle certainement très exclusif à l'action chimique de corrosion qui, dans la région considérée, paraît certainement l'emporter de beaucoup (1) sur l'érosion mécanique; de ce que, enfin, M. Dupont s'exagère la compacité générale et l'impénétrabilité relative des massifs calcaires sous une faible profondeur, M. Verstraeten exulte triomphalement. Il ne s'aperçoit point que ce sont là de minimes défauts d'une solide cuirasse, qui ne lui reste pas moins nettement opposée et invulnérable. Il cherche à faire croire au lecteur bénévole que la région calcaire de Han-Rochefort échappe à la synthèse générale et classique, qui est la nôtre, à M. Rutot et moi, qui est celle de MM. Stainier et Willems et de bien d'autres encore, au sujet du régime aquifère des calcaires, dont la dite région constitue en réalité un *merveilleux et topique exemple*, véritablement classique, surtout depuis les exposés détaillés de MM. Dupont et Willems!

M. Verstraeten ne semble guère se douter que notre manière de voir, à mes collègues précités et à moi, est tellement justifiée, qu'elle est, depuis nombre d'années, enseignée à tous comme *classique*, elle aussi, dans le cours de géologie appliquée, donné par M. le professeur M. Lohest à l'Université de Liége.

Passons aux régions calcaires du Hoyoux et du Bocq.

Dans son *Examen hydrologique des bassins du Hoyoux et du Bocq* (2),

(1) Voir E. Rahir et J. Du Fief. *De l'action chimique des eaux courantes dans les cavernes, ou dans les grands canaux souterrains*, travail présenté à la séance du 15 janvier 1901 de la Société belge de Géologie et destiné au tome XV du *Bulletin*. Dans cette étude, les auteurs montrent, par la combinaison de jaugeages avec des analyses, que le travail de *corrosion chimique* qui s'opère dans les galeries souterraines, longues d'environ 2 kilomètres, que parcourt la Lesse dans la *grotte de Han*, représente une ablation de 3kgr,48 par minute de matières solides enlevées aux parois de la grotte. En admettant l'identité d'énergie des agents chimiques pendant toute l'année, l'enlèvement des matières dû à cette seule cause, matières dont le calcaire constitue une grande partie, représenterait près de *un million huit cent quatre-vingt mille kilogrammes*. Multipliées par l'action des siècles, font judicieusement remarquer les auteurs, ces actions purement dissolvantes ne réclament donc pas toujours le concours des actions mécaniques pour expliquer la formation d'immenses cavités au sein des calcaires que traversent des eaux souterraines en mouvement.

(2) Th. Verstraeten, *Examen hydrologique des bassins du Hoyoux et du Bocq*. (Bull. Soc. belge de Géol. etc., t. VIII, 1894, pp. 141-165.)

Digitized by Google

publié dans notre *Bulletin* en 1894, M. l'ingénieur Verstraeten s'est, avec raison, semblerait-il, élevé contre l'exagération de l'évaluation, faite par une ancienne Commission technique déléguée à cet effet, de certains *débits de sources*, dans la région de Modave, sur le Hoyoux, et que l'on se proposait de capter. D'assez sensibles erreurs auraient été commises (1) dans le calcul des jaugeages, établis d'après le procédé dit par déversoirs. Des jaugeages ultérieurs, faits par empotement, auraient, *pendant une période de sécheresse*, ne l'oublions point, fourni des résultats bien moindres.

Soit; cette critique d'ingénieur à ingénieur, faite par un spécialiste compétent, peut être plus ou moins fondée; mais en admettant même qu'elle ne soit pas exagérée, elle n'atteint en rien les géologues ni le principe de leurs vues, absolument indépendantes de tout ceci.

M. Verstraeten rappelle ensuite ce qu'avait, *avant lui*, montré M. Putzeys : à savoir que l'importance de certaines crues anormales ou accidentelles du Hoyoux, et dont les promoteurs des premier projets techniques de dérivation paraissent ne s'être pas doutés, devait rendre inexécutables, ou tout au moins condamnables en pratique, certains dispositifs de captage, primitivement proposés pour l'aménagement des sources du Hoyoux, dans la région de Modave.

Voilà les faits matériels dont l'exposé forme la note dominante de l'étude de M. Verstraeten sur l'hydrologie des calcaires du Hoyoux et du Bocq; ils se réduisent donc à la critique et à la mise au point par M. l'ingénieur Verstraeten de travaux ou de thèses d'autres ingénieurs et hydrologues en ce qui concerne des questions techniques de *systèmes de jaugeages* et de *dispositifs de captage* et... C'EST TOUT (2). Cela suffit cependant, paraît-il, non seulement pour infirmer l'excellent et judicieux exposé (3), présenté le 23 janvier 1894 par M. l'ingénieur Putzeys, ingénieur des eaux de la ville de Bruxelles, et consacré aux sources de l'Ourthe, du Hoyoux et du Bocq. Qu'importe à M. Verstraeten que cet exposé, que signeraient volontiers *tous les géologues compétents* en matière d'hydrologie des calcaires, soit absolument conforme à tout ce que nous enseignent la science et l'expérience des spécialistes. Il suffit à mon honorable contradicteur

(1) Cependant, dans un rapport présenté à la Commission communale des eaux par M. *V. Besme*, inspecteur voyer, qui a effectué à Modave, à la demande de la Commission intercommunale des eaux, des jaugeages de vérification, l'auteur réfute la portée exagérée que l'on a donnée aux critiques émises au sujet des premières séries de jaugeages faites à Modave, et il maintient, comme un minimum assuré, les chiffres obtenus en 1889, soit un rendement de $9^{m3},6$ à l'hectare-jour, quoi qu'en disent MM. Verstraeten et consorts.

(2) Voir cependant, pour la question complémentaire des *serrements*, également abordée par M. Verstraeten, la mise au point que j'ai fournie dans ma *Note additionnelle* n° 2 pour cette troisième critique technique.

(3) E. PUTZEYS, *Les sources des vallées de l'Ourthe, du Hoyoux et du Bocq. Étude hydrologique.* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., DE PALÉONT. ET D'HYDROL., t. VIII, 1894. Procès-Verbaux, pp. 6-42.

Digitized by Google

d'avoir rencontré les deux points techniques spéciaux ci-dessus indiqués pour lui permettre de donner cours à ses hypothèses hydrologico-géologiques et de donner tort à tous ceux qui ne pensent pas comme lui.

Mais des deux points critiqués par M. Verstraeten, l'un ne faisait que rééditer un exposé critique déjà fourni précisément par M. Putzeys dont M. Verstraeten combattait d'autres vues; quand à l'autre, relatif au *débit des sources*, il a une portée d'ordre scientifique qui le fait rentrer dans notre domaine et va nous permettre d'examiner si ces critiques ont une portée sérieuse.

Le promoteur du projet de dérivation des sources de Modave et ensuite l'ancienne Commission de jaugeage des sources émergeant dans la vallée calcaire du Hoyoux, auraient donc annoncé, par suite de l'emploi d'une méthode discutable de jaugeage, des débits qui, pour la période pluvieuse de 1885 à 1889 (1), ont été signalés erronément comme pouvant s'élever au chiffre considérable de 11 mètres cubes à l'hectare-jour, et ne tombant pas sous $9^{m3},6$. M. Verstraeten conteste ces chiffres. Fort bien, mais il n'en reste pas moins établi et *définitivement acquis* que les jaugeages de précision, « rigoureux », dit M. Verstraeten lui-même, effectués en 1892 et 1893 et par empotement, remplaçant l'ancien dispositif critiqué, ou par déversoir, fournirent encore $7^{m3},18$ et $6^{m3},51$ *à l'hectare-jour* (2).

Les sources des régions supérieures du Hoyoux pendant les mêmes années *sèches* 1892 et 1893 fournirent respectivement, pour la superficie totale du bassin superficiel considéré, $6^{m3},26$ et $5^{m3},80$, chiffres s'élevant, pour la superficie calcaire, à $9^{m3},40$ et à $8^{m3},62$ à l'hectare-jour.

Quant aux sources de la vallée du Bocq, à l'amont de Spontin, elles fournirent pendant la même période sèche, et suivant que l'on considère la superficie totale ou la surface du calcaire, respectivement, pour ces deux années, $5^{m3},35$ et $5^{m3},12$, et enfin $11^{m3},80$ et $11^{m3},40$! (3).

(1) Sauf l'année 1887, exceptionnelle parmi ses voisines et plutôt sèche.

(2) Ces chiffres *doivent* être admis par M. Verstraeten, car ils sont établis sur les données énoncées ou reconnues exactes par lui-même dans son *Examen hydrologique des bassins du Hoyoux et du Bocq*. (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., t. VIII, 1894; PROCÈS-VERBAUX. pp. 141-165.) A la page 142 de ce travail, M. Verstraeten admet pour le bassin hydrographique du Bocq, à l'amont des sources du parc de Modave « une superficie de 8,906 hectares ». Or le même auteur admet comme absolument fondés, les chiffres d'un débit quotidien de 64,000 mètres cubes pour 1892 et de 58 000 mètres cubes pour 1893. La conséquence de ces données, fournies par lui-même, est bien de nous faire obtenir respectivement pour les années *sèches* 1892 et 1893 un rendement « à l'hectare-jour » de $7^{m3}.18$ et de $6^{m3},51$.

(3) Voir l'intéressante étude de M. l'ingénieur *Walin*, très documentée sur cette question des jaugeages et intitulée : *Étude sur le régime hydrologique, sur l'importance et la nature des eaux dans les terrains calcaires du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse*. (BULL. SOC BELGE DE GÉOL., DE PALÉONT. ET D'HYDROL., t. VIII, 1894. Procès-Verbaux, pp. 90-119.)

Digitized by Google

M. Verstraeten ne peut s'empêcher, malgré ses critiques sur les chiffres moins « rigoureux » des premières séries de jaugeages effectués à Modave, de considérer les résultats *indiscutés*, ci-dessus énoncés, comme **tout à fait exceptionnels** (p. 157, § 6), et il se livre à un travail de pluviométrie comparée et rétrospective, tendant à introduire, l'un après l'autre, une série de coefficients de réduction dans ces débits, de périodes sèches cependant, dont l'énormité gêne visiblement sa thèse.

De réduction en réduction *théorique*, il en arrive (p. 158) *a priori*, à admettre comme *prévision* de minima absolu, en période sèche *prolongée*, les chiffres de 5^{m3} et de $4^{m3},25$ à l'hectare-jour, respectivement pour le Hoyoux et pour le Bocq. Ses réductions *théoriques* ne sont pas minces, puisque, pour les sources de Modave, le résultat de jaugeages « rigoureux » et restés *incontestés* a fourni des chiffres correspondant, pour 1892 et 1893, — années sèches — aux produits de $7^{m3},18$ et $6^{m3},51$ à l'hectare-jour (1).

Or, malgré les laborieuses séries de réductions de M. Verstraeten, celui-ci en est encore réduit à se demander (p. 158) *comment s'expliquent des chiffres dépassant si fortement le chiffre de 4 mètres cubes* « que nous étions habitués à considérer comme applicable seulement aux bassins les mieux constitués du pays ».

Cette explication si logique, qu'il se refuse à trouver tout simplement dans le *régime aquifère spécial des calcaires* et dans les *courants circulatoires souterrains à grandes distances* (2), il la cherche péniblement dans cinq raisons, qu'il énumère. Il en rejette trois et en accepte deux, assez accessoires (basées sur le degré normal d'abondance des pluies dans la région considérée et sur l'état très absorbant de son sol), alors que le motif *principal* lui échappe complètement.

Nous lui avions cependant naguère, M. Rutot et moi, fourni celui-ci en exposant la thèse si simple et si naturelle des communications souterraines à grandes distances et par conséquent du rôle des *empiétements souterrains* des réserves aquifères des calcaires, pouvant alimenter les

(1) M. Verstraeten se garde bien de mettre en évidence, en les fournissant dans son exposé critique, ces *chiffres élevés*, qui sont cependant la résultante immédiate des rendements qu'il admet comme justifiés par rapport au nombre d'hectares considérés. (Voir la note 2 de la page précédente.)

(2) Déjà, en 1873, M. Éd. Dupont, dans son article : *Orologie, de Patria Belgica*, fournissait de ceux-ci un exemple topique, observé en Belgique.

« Entre Ciney et Dinant, dit M. Dupont, à Jaulevant, existent de grands amas » d'argile au contact des calcaires et des psammites. Un étang naturel, qui se trouve » en cet endroit, n'est dû qu'à la présence sous-jacente du filon d'argile. Il y a » quelques années, on se mit à exploiter le minerai de fer subordonné à ce filon et à » le laver dans l'étang. *Peu de temps après*, une fontaine d'un débit assez important, » qui alimente un quartier de Dinant et dont la limpidité n'avait jusqu'alors laissé » rien à désirer, *commença à donner de l'eau trouble*, quoiqu'elle fût *éloignée* de » 7 kilomètres de Jaulevant. »

Digitized by Google

sources dans des limites géographiques dépassant de beaucoup la périphérie des bassins hydrographiques superficiels.

Comme je l'ai fait remarquer en 1890 (1) avec force détails et faits précis à l'appui (débit du torrent de Bonne, etc., dans la région du Hoyoux), les dispositions très spéciales de nos multiples plis allongés calcaires du Condroz, qui, souterrainement, passent indifféremment *au travers* de *deux ou trois bassins hydrographiques superficiels* auxquels ils servent de *collecteur commun*, justifient admirablement la thèse que j'ai défendue du rôle hydrologique de l'empiétement souterrain des calcaires. Que tout lecteur impartial examine avec soin la carte géologique d'André Dumont et essaie ensuite de trouver matière à critique dans les phrases suivantes qu'elle m'a inspirées :

On ne pourrait mieux comparer cette disposition qu'à celle d'une immense pieuvre renversée, (2) dont les tentacules, armés de nombreux suçoirs, seraient étalés en deux séries de bras parallèles étendus de droite et de gauche : les *bras de la pieuvre* représentant les *bandes calcaires* et les *suçoirs* les mille et une *fissures absorbantes* du calcaire. De cette disposition, il résulte que le bassin hydrographique souterrain des calcaires est *infiniment plus étendu* que le bassin superficiel de la vallée du Hoyoux, et tel est le motif précis, incontestable, de l'énorme quantité d'eau que déversent les sources qui, comme celles de Modave, constituent le déversoir naturel de ce gigantesque système de drainage souterrain. L'étendue des réservoirs calcaires ainsi drainés fournit l'explication normale du débit des sources signalé comme supérieur aux ressources que la proportion d'eau infiltrée, calculée d'après les chutes pluviales du bassin hydrographique superficiel du Hoyoux, permettait d'admettre.

Et que parvient à opposer à cette thèse mon honorable contradicteur? Quelles données scientifiques, quels faits précis fournit-il à l'appui de son opposition ?

Tout simplement la trop grande *majoration* des débits fournis par les anciens jaugeages, comme si cette question d'EXAGÉRATION *de quantité*, en présence du fait avéré, avoué par M. Verstraeten, des *énormes débits* RÉELS *fournis par les jaugeages de vérification* de 1892 et 1893, pouvait infirmer en quoi que ce soit ma thèse du rôle de l'empiétement des bassins calcaires passant sous forme de fonds de bateaux, en rangées parallèles, à travers le sous-sol de bassins hydrographiques superficiels contigus !

On voit bien que, malgré ses dénégations, M. Verstraeten est hanté par l'idée, qui s'impose malgré lui, de l'empiétement aquifère efficace des bassins calcaires; car, parlant de l'action drainante réciproque possible des bandes calcaires du Bocq et du Hoyoux, il est forcé de faire ce demi-aveu, dans lequel je me borne à souligner quelques mots suggestifs :

(1) E. VAN DEN BROECK, *Les sources de Modave et le projet du Hoyoux, considérés au points de vue géologique et hydrologique.* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., DE PALÉONT. ET D'HYDROL., t. IV, 1890. Procès-Verbaux, pp. 180-189.

(2) Cet adjectif complémentaire avait été omis dans l'impression originale.

Digitized by Google

Or, si d'une part M Moulan a reconnu des *rendements considérables* du côté du Hoyoux, d'autre part M. Walin en a observé de *tout aussi extraordinaires* du côté du Bocq. Il y aurait donc tout au plus *action réciproque?*

Mais après la constatation des produits unitaires *exceptionnels* des calcaires du Hoyoux, on a trouvé des produits *plus exceptionnels encore* pour les calcaires du Bocq. Ce seraient donc plutôt ces derniers qui draineraient les autres?

Mais M. Verstraeten, que l'on s'attend à voir tirer ici une conclusion logique de ces constatations, met brusquement fin à ses perplexités en écartant d'emblée la conséquence naturelle de ces phénomènes et il dit, avec une belle simplicité : « Ce n'est pas ainsi que j'*entends conclure*. »

Cela ne m'étonne nullement. Conclure en bonne logique, d'après ce que montre ici l'*évidence des faits* et en présence de ces divers débits *exceptionnels*, et *extraordinaires* des sources de nos divers massifs calcaires, serait, de la part de M. Verstraeten, fournir un peu plus qu'une grave objection au *parallélisme* qu'il cherche à établir entre les rapports directs de la chute pluviale et de l'étendue des bassins apparents, ou superficiels, avec le débit des sources, qu'il s'agisse indifféremment de massifs calcaires fissurés ou de bassins à dépôts meubles.

La conclusion, si simple et si universellement admise, que le débit des sources du calcaire est généralement *indépendant* des éléments précités et se trouve en rapport direct avec l'extension, la facilité de communications et les dimensions des canaux aquifères localisés, et aussi avec le rôle et l'importance de certaines réserves (1) accumulées au sein des massifs calcaires; cette solution, dis-je, échappe complètement à M. Verstraeten et ne parvient pas même à illuminer ses étonnements en face des constatations précises qu'il est forcé d'avouer (2).

Le voilà cependant, inconsciemment dénoncé par lui, le régime aquifère des régions calcaires BELGES que M. Verstraeten s'obstine à opposer comme *un cas d'exception* au régime aquifère des massifs calcaires signalé

(1) M. *Martel*, qui est de tous les spécialistes celui qui a vu le plus de faits dans les profondeurs des massifs calcaires, a eu maintes fois l'occasion de constater l'existence, dans des cavités et dans des fentes élargies servant de réservoirs localisés au sein des calcaires, de nombreux *siphonnements*, clef de bien des phénomènes hydrologiques autrefois inexplicables. Suivant les *oscillations* de certains niveaux d'eaux, suivant l'importance de *certaines crues souterraines*, il s'effectue des amorçages et des désamorçages de ces réserves aquifères, munies de dispositifs rocheux siphonnants, et les phénomènes inexplicables d'énormes débits spéciaux temporaires de certaines sources en massifs calcaires s'expliquent ainsi très aisément. Un jour viendra, je l'espère avec M. Martel, où l'on admettra la fréquence de pareils cas dans le régime aquifère des terrains rocheux calcaires.

(2) Voir, dans la seconde partie de la NOTE ADDITIONNELLE n° 2, les *importantes conséquences* de cette conclusion sur le peu de valeur, sur l'*absence de valeur* même, qu'il faut attribuer aux mirages que constituent en réalité les chiffres de PRÉTENDU RENDEMENT à l'*hectare-jour* dans le cas des *calcaires plissés et redressés*.

Digitized by Google

par les géologues et les spécialistes les plus autorisés de tous pays.

Et ce n'est pas seulement le régime des sources qui aurait pu l'éclairer. M. Verstraeten se retranche derrière les constatations des *nivellements* que MM. les ingénieurs François et Walin ont effectués dans divers massifs calcaires. Il se sert alors de l'avis contradictoire fourni par M. Dupont qui, dans la région devonienne Han-Rochefort, n'a pas constaté de nappe d'imprégnation. Si M. Dupont, pas plus que M. Martel et bien d'autres, n'admet en principe, dans les calcaires, de nappes plus ou moins analogues à celles des dépôts meubles, il n'en est pas toujours de même pour M. Rutot et pour moi qui, d'accord en cela avec MM. Boursault et Willems, admettons la possibilité, dans certains cas, — celui de nos bassins carbonifères du Condroz, avec calcaires *localisés* et en *fonds de bateaux* — de réserves aquifères présentant, à part le phénomène *de discontinuité générale* propre aux eaux des calcaires, à peu près les allures des nappes régulières, et drainées par les vallées, de nos bassins à dépôts meubles

Nous acceptons donc comme souvent fondés et réels les nivellements de niveaux aquifères assez étendus dont parle M. Verstraeten pour certains massifs calcaires, et qui, dans le cas schématisé par la figure du bassin calcaire localisé, représenté page 396, sont fournis par la rencontre, par puits, de la ligne piézométrique du niveau d'eau C C. Mais cela ne constitue qu'une partie — la plus profonde et la plus inaccessible aux travaux comme aux puits — d'un régime hydrologique, que complète très efficacement le dispositif à *circulation localisée* D D (voir même figure) et si bien représenté dans la figure de M. Stainier (voir p. 399), alors que pour M. Verstraeten et ses lieutenants il n'y a guère à considérer dans les calcaires que ce cas du réservoir aquifère A, B B, (fig. 1) qu'il se figure, bien à tort, être si général, alors qu'il faut les dispositions régionales, toutes spéciales et si peu répandues ailleurs, de nos calcaires carbonifères du Condroz pour en amener l'existence.

Grande est cependant l'erreur de M. Verstraeten quand il croit que le nivellement, qu'il nous oppose, de telles nappes dans les calcaires lui fournirait toujours les mêmes allures, les mêmes résultats que dans le cas des bassins à dépôts meubles. Les facteurs relatifs à la *direction* et à la *localisation* des apports aquifères y interviennent pour créer des ANOMALIES par rapport à ce qui se constate dans la disposition des nappes en dépôts meubles. Je ne citerai comme exemple que le cas, nettement décrit dans le compte rendu d'excursion du commandant Willems (*loc. cit.*, pp. 355-356, fig. 12 et 13), du nivellement de trois puits assez voisins, creusés dans le calcaire à Purnode (vallée du Bocq), où la pente de la nappe aquifère est manifestement *inverse* à celle du terrain.

D'autres nivellements, exécutés par M. l'ingénieur Walin et relatifs à la région du Bocq, à Spontin, se trouvent également fournis pages 356 et 388 et figures 14 et 15 dans le même compte rendu de M. Willems. S'ils ne

Digitized by Google

montrent pas la même inversion de pente que dans le cas précédent, les *irrégularités d'allures* des ressources aquifères rencontrées, montrent à l'évidence, aux yeux les moins clairvoyants, que l'on ne peut que « se fourvoyer » en adoptant la thèse si peu justifiée de M. Verstraeten, au sujet de l'identité de caractères et d'allures des nappes des deux grands types de terrains perméables : rocheux calcaires fissurés et sédimentaires meubles.

Le même compte rendu de M. Willems fournit pour la région calcaire de Dinant et pour certaines de ses sources (p. 343), de même que pour les sources de Vyle, dans la vallée du Hoyoux (p. 370), des données précises, montrant que, dans les massifs calcaires, à côté de sources utilisables, ou non inquiétantes pour l'alimentation des populations, il en est de condamnables absolument; ce qui est aussi différent du cas général des dépôts aquifères meubles. Enfin, le même compte rendu expose des données fournies par M. Walin (pp 365-368), d'après lesquelles on ne semble pas devoir attribuer au régime hydrologique de nos calcaires *carbonifères* les mêmes caractères que ceux reconnus dans celui de nos calcaires *devoniens*. Dailleurs le régime de grottes, de cavités et de cassures tectoniques, du calcaire devonien, surtout bien développé dans les grands replis et contournements d'allures que décèle fort bien le simple examen de la carte, ne paraît pas avoir son équivalent structural dans notre calcaire carbonifère. Cet exposé de M Walin est parfaitement exact et justifié par les faits, et toujours les éléments de *différenciation* s'imposent dans l'étude de la présente question.

L'hydrologie des calcaires de la région de Remouchamps.

Avec la région Han-Rochefort, nous avions affaire aux *calcaires devoniens* du bord *méridional* du bassin de Dinant. Avec les vallées du Hoyoux et du Bocq, nous étions dans le *calcaire carbonifère* formant la région *centrale* de ce vaste bassin primaire. Si, maintenant, nous nous transportons vers l'extrémité *orientale* du même bassin, nous y trouvons les calcaires *devoniens* de la région de l'Amblève, qui, aux environs de Remouchamps, par exemple, sont encore plus démonstratifs, peut-être, que les précédents, au point de vue des multiples phénomènes de la circulation aquifère souterraine et de la localisation en eaux courantes remplaçant les nappes générales d'imprégnation des dépôts meubles.

Déjà la carte *topographique* de cette région montre un phénomène étrange à première vue, mais que la carte *géologique* (voir fig. 4) fait comprendre de suite, grâce à la présence d'une large et sinueuse *bande calcaire devonienne*, sur les bords de laquelle se passe le phénomène dénoncé par la carte topographique. De chaque côté d'une vallée sèche, c'est-à-dire dépourvue de tout cours d'eau, si minime qu'il soit, on voit s'arrêter brusquement, après un certain parcours dirigé vers ladite vallée,

Digitized by Google

seize à dix-sept ruisseaux permanents, dont les eaux se perdent donc, invariablement, sous terre *au contact du calcaire*.

Ce sont les menues branches d'un arbre dont le tronc liquide et les

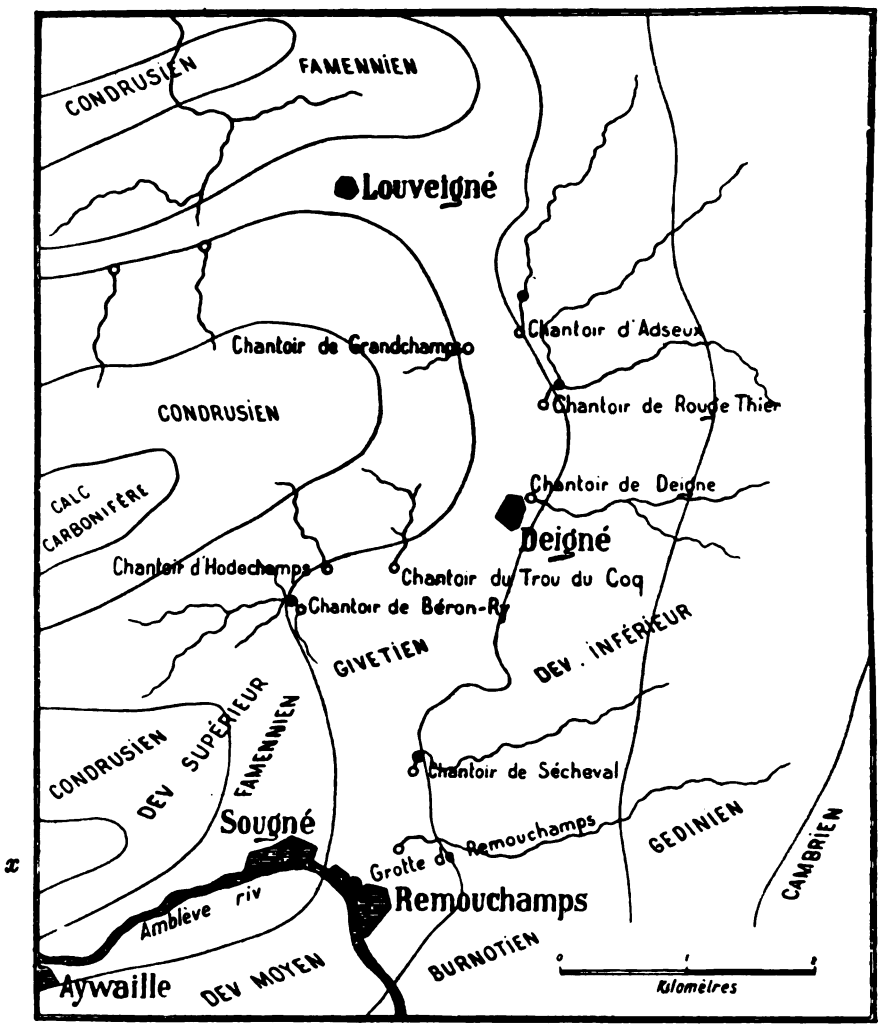


FIG. 4. — Le vallon des Chantoirs, à Remouchamps, dans le calcaire de Givet du Devonien moyen. (*x z* représente l'*orientation* de la coupe du calcaire devonien figurée plus loin.)

maîtresses branches coulent souterrainement au sein du massif calcaire, lequel, en hiver, absorbe également, de la même manière, des *centaines* de traînées d'eaux de ruissellements temporaires, descendant des deux

Digitized by Google

flancs opposés de la vallée sèche, appelée vallon de Sècheval, ou mieux *vallon des Chantoirs*, d'après quelques pittoresques points d'engouffrement, déjà connus des touristes, et où disparaissent, dans le sein du calcaire, quelques-uns des ruisseaux permanents de la région.

Dans le croquis ci-dessus, très sommaire (fig. 4), sont figurés seulement les *principaux* de ces ruisseaux et, pour représenter plus facilement les seules grandes lignes de la géologie régionale du pays, je m'en suis tenu à l'ancienne interprétation synthétique de la carte d'A. Dumont.

Je compte *monographier* quelque jour cette remarquable vallée des Chantoirs, dont j'ai déjà dit quelques mots en 1898 (1), vallée qui s'étend, sur huit kilomètres environ, depuis la région de Louveigné jusqu'à la *grotte de Remouchamps*, dont l'ample rivière souterraine constitue le superbe exutoire d'un vaste réseau de ruisseaux cachés. J'ai déjà pu reconnaître, étudier et cataloguer plus d'une *centaine* de ces chantoirs ou aiguigeois, points d'introduction souterraine des eaux superficielles, les uns permanents, les autres temporaires, et ceux-ci sans cesse variables en nombre et en position.

Dans un seul cirque d'effondrement calcaire de cette intéressante région, dépression sans doute causée par des éboulements de salles souterraines inexplorées, et même insoupçonnées, j'ai pu compter jusque TRENTE-TROIS *points d'absorption* des eaux superficielles, les uns en fonction, les autres anciens et bouchés.

Déjà, grâce à la fluorescéine, j'ai pu apprécier certaines durées de parcours souterrains, toujours en convergence vers la rivière souterraine de la grotte de Remouchamps, et bien d'autres constatations ont pu être faites qui annoncent que, lorsque mes études dans ces parages seront terminées, *le vallon des Chantoirs* de Remouchamps et sa grotte, déjà célèbre, fourniront un merveilleux apport, absolument confirmatif de la grande synthèse générale, aujourd'hui classique dans la science, du régime aquifère si spécial aux massifs rocheux calcaires.

La figure 5, ci-dessous, montre d'une manière *sommaire*, mais caractéristique, la disposition du calcaire devonien : givetien et frasnien, de Remouchamps (Givetien de Dumont) et de son régime aquifère souterrain.

C'est une coupe *de la partie centrale*, suivant la ligne d'orientation *x z*, de la carte fournie par la figure 4, coupe ayant pour but de montrer la disposition en profondeur du massif calcaire devonien du *vallon des Chantoirs*, flanqué, par-dessous, de l'ensemble des couches quartzo-schisteuses couviniennes et burnotiennes, constituant l'ancien étage burnotien de Dumont, recouvert, au-dessus, par les schistes imperméables de Frasnes et de la Famenne, réunis par Dumont dans son *Famennien*, sous-jacent à

(1) E. VAN DEN BROECK, *Sur la rivière souterraine et sur la grotte de Remouchamps. Note préliminaire sur ses niveaux à silex et à ossements d'âge paléolithique.* (BULL. SOC. D'ANTHROPOL. DE BRUXELLES, t. XVII, 1898-1899, pp. 128-144.)

Digitized by Google

son *Condrusien*, ou terme quartzo-schisteux servant lui-même de substratum à un bassin de Calcaire carbonifère.

Comme le but du présent exposé et celui de la carte et de la coupe qui précèdent n'ont rien de spécialement stratigraphique et que c'est seulement le côté *pétrographique* de la question qui est ici envisagé, j'ai cru bien faire de ne pas compliquer l'esquisse géologique de la figure 4, ni surtout la coupe transversale de la figure 5, par l'adjonction des éléments stratigraphiques détaillés et nouveaux, que les études et les levés de MM. H. Forir et P. Fourmarier ont apportés à l'ancienne interprétation plus synthétique d'A. Dumont, à laquelle se bornent mes figures. Il convient toutefois de noter que le massif Burnotien de Dumont englobe ici en réalité, dans sa région occidentale, voisine du calcaire, une certaine épaisseur de poudingue, de schistes, de grès, de calschistes et de psammites, constituant un horizon quartzo-schisteux, actuellement rangé dans le *Couvinien* et faisant par conséquent partie, avec les calcaires givetiens, du Devonien moyen. Envisagées aux points de vue pétrographique et hydrologique, les seuls en question ici, ces couches couviniennes, avec leur poudingue de base P′ (sans doute plus continu que sur la figure), ne forment qu'un ensemble homogène avec le Burnotien proprement dit.

De même, le calcaire givetien *in globo*, tel que le comprenait Dumont et tel qu'il est figuré ici d'une manière homogène, doit se subdiviser dans la région des chantoirs, comme généralement ailleurs, en deux massifs calcaires : l'un, inférieur (en A′ sur la figure 5), correspondant au calcaire à Stringocéphales et à Murchisonies (G*va* de la légende de la Carte); l'autre, supérieur (en A dans la figure 5), qui est le calcaire noir et gris, en bancs épais, dit calcaire de Givet, à Stromatoporoïdes et à Polypiers. Ces deux assises calcaires du Givetien sont séparées par un dépôt de schiste et de calschiste, accompagné d'un très mince niveau psammitique; le tout non représenté ici (fig. 5), vu l'échelle minime de la coupe et vu le peu d'importance pratique que doit présenter, au point de vue hydrologique, cette zone localisée de différenciation pétrographique dans la région considérée. Ces calschistes, attaquables, quoique moins que le calcaire massif et pur, ne peuvent guère faire obstacle à la circulation des eaux; après la dissolution du calcaire, m'écrit M. H. Forir, qui les a étudiés lors de ses levés géologiques dans la région de Remouchamps, ils se désagrègent, s'éboulent et sont entraînés par les ruisseaux souterrains. Rien ne dit même que cette assise, dans ses zones internes décomposées, ne fournisse pas l'une ou l'autre artère importante parmi les canaux du lacis fluvial souterrain du vallon des Chantoirs.

Si l'on continue à se placer au point de vue strictement stratigraphique, il convient d'ajouter que la grande muraille calcaire, dite givetienne, constituant le calcaire eifelien de Dumont, englobe encore, dans sa partie supérieure (en A″ dans la figure 5), le développement irrégulier et discontinu

Digitized by Google

d'un calcaire spécial, d'origine organique, actuellement distingué sous le nom de calcaire de Frasne et que sa faune a fait séparer du Devonien moyen, pour constituer la base du Devonien supérieur. Stratigraphiquement donc, la zone A″ du Givetien figuré dans la coupe ci-dessous (fig. 5) et aussi une certaine épaisseur des schistes, base du Famennien, tel que l'entendait Dumont, constituent ensemble l'*étage frasnien*, base du Devonien supérieur. Mais comme, en réalité, le calcaire frasnien A″ n'est séparé du véritable Givetien calcaire A que par un lit schisteux qui, dans la région considérée, ne dépasse pas *un* mètre d'épaisseur (1), on est en droit, dans un exposé comme celui-ci, de considérer et de figurer seulement *les grandes masses* du terrain, divisées par leurs éléments de *différenciation pétrographique*. L'âge des couches et leurs affinités stratigraphiques deviennent tout à fait accessoires, en effet, au seul point de vue qui nous intéresse ici.

Ces réserves faites, reprenons l'examen des éléments à étudier au point de vue hydrologique.

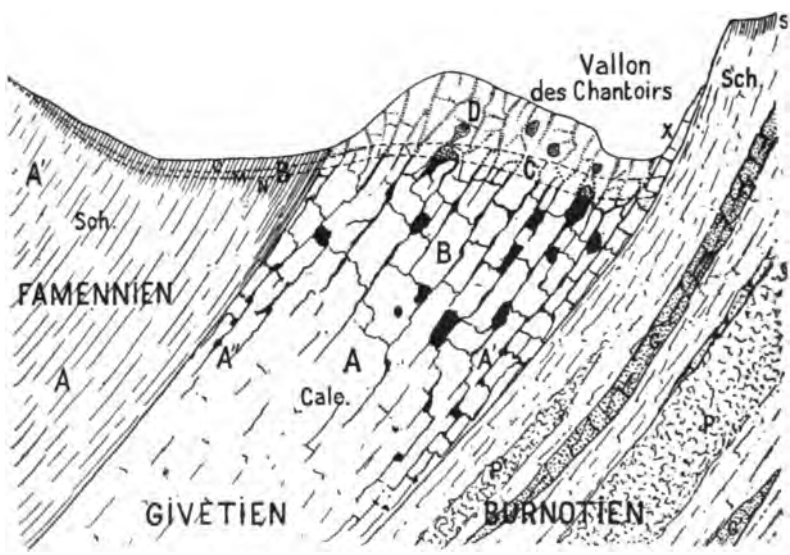


FIG. 5. — *Coupe transversale de la région centrale devonienne passant par le vallon des Chantoirs, au nord de Remouchamps (suivant la ligne x x).*

LÉGENDE DÉTAILLÉE DE LA FIGURE 5, DONT LES TRACÉS, TOUTEFOIS, NE REPRÉSENTENT QUE L'INTERPRÉTATION SYNTHÉTIQUE DE LA LÉGENDE DE A. DUMONT.

Dans cette figure, les abréviations *Calc.* et *Sch.* correspondent respectivement au *calcaire* couvinien, givetien et frasnien et aux *schistes* frasniens, famenniens, couviniens

(1) Près des chantoirs de Béron-Ry, cette couche schisteuse n'a plus même que 0m,60, m'écrit M. H. Forir, et elle disparaît complètement plus au Nord.

Digitized by Google

et burnotiens qui l'entourent. Ceux-ci, toutefois, en **G** et **G'**, ainsi qu'en **P** et **P'**, montrent des niveaux intercalés de *grès* et de *poudingues*. Sans m'être occupé, pour ceux-ci, de chercher à reconstituer le détail exact de la structure du massif « burnotien » de Dumont. j'ai supposé, en **G'** et en **P'**, des bancs gréseux et de poudingues n'arrivant pas en affleurement au sol du plateau, et, pour cette raison, je les ai indiqués comme *non aquifères*.

Les traits noirs accentués — certains. trop peut-être — dans la partie **A**, inférieure du massif calcaire central, représentent, en coupe transversale, le réseau des canaux et des cavités aquifères. surtout développés en **B**. La figuration en *pointillé* de la zone C du calcaire représente la zone de fluctuation normale saisonnière du remplissage des canaux et des cavités du calcaire par les eaux en mouvement de ce *dispositif circulatoire localisé*. Le figuré spécial en *grisé* de la zone supérieure D du calcaire représente des fissures, des canaux, des cavités et des *grottes*, qui, normalement, même aux périodes saisonnières de débit maximum, restent à sec et sont vides, ou bien sont bouchés par du limon.

L'*intensité* des corrosions du calcaire *au contact des schistes* n'a malheureusement pas non plus été rendue par le dessinateur conformément au modèle fourni et cette partie du figuré doit être un peu accentuée dans ce sens.

La curieuse dalle calcaire **X** appliquée contre le massif schisteux de droite constitue simplement un phénomène local et accidentel, résultant de la préservation, justement sur le passage de la coupe, d'un ou deux bancs calcaires couviniens particulièrement résistants.

Toute la masse, soit en profondeur (A), soit sur les hauteurs (A'), des schistes famenniens et frasniens est imperméable et non aquifère; la région superficielle et délitée B est seule aquifère, par imprégnation d'eaux d'infiltration venant de la surface.

N représente la zone d'imprégnation plus ou moins permanente, ne descendant d'ailleurs qu'à une minime profondeur; **M** correspond à la zone d'oscillation saisonnière ou accidentelle (à la suite de ruissellements temporaires) de la réserve aquifère, et **O** représente la masse la plus superficielle des feuillets schisteux délités, vides, mais servant à amener en **MN** les eaux pluviales.

Si l'on passe au massif schisteux couvinien et burnotien, substratum du calcaire givetien, on y remarque, par contraste avec ce qui se passe dans le schiste famennien, que c'est par suite de l'hétérogénéité lithologique du dit massif que l'on y constate, en profondeur, l'existence d'un dispositif aquifère rappelant, mais sur une moindre échelle, celui du calcaire. Bien entendu, la *disposition* des bancs figurés de grès et de poudingue **G**, **G'** et **P**, **P'** est ici absolument quelconque, faute de recherches faites dans ces parages non calcaires : elle n'a d'autre but que de montrer que les cassures comme les joints des *bancs gréseux* ou *psammitiques* peuvent, dans une certaine mesure et quand ils sont en communication (comme en **G** et en **P**) avec les *régions d'affleurement*, fournir des ressources et des écoulements aquifères. Ceux-ci sont même suffisants, dans certains cas et dans divers niveaux stratigraphiques, si les bancs de grès sont *nombreux* et *développés*, pour permettre d'y trouver des ressources sérieuses en eaux alimentaires.

Le même phénomène d'imprégnation aquifère s'observe très fréquemment à la surface des *poudingues*, d'ailleurs souvent en connexion avec des bancs gréseux. Dans la figure 5 on voit. tout en haut, en **S**, la minime localisation des schistes couviniens et burnotiens *délités* qui, dans leurs zones superficielles et d'affleurement, peuvent, tout comme les schistes frasniens et famenniens, s'imprégner, à minine profondeur, d'eaux d'infiltrations pluviales, à moins, toutefois, qu'un recouvrement argileux d'altération et de décomposition *in situ* n'y fasse obstacle.

Digitized by Google

Revenant à la coupe (fig. 5) de la partie centrale de cette région, on y constate que le calcaire givetien ne présente nullement ici, comme c'est le cas pour le calcaire carbonifère du Condroz dans le bassin de Dinant, la disposition *en cuvettes allongées*, limitées en profondeur, à bords relevés latéralement et enserrées de toutes parts dans un berceau quartzo-schisteux, qui lui-même passe plus bas au schiste imperméable.

Ici, comme ailleurs sur d'énormes étendues de la bordure devonienne des bassins de Dinant et de Namur, le massif calcaire givetien forme comme une large muraille, aux assises redressées, régulières et parallèles, s'enfonçant obliquement à une très grande profondeur dans le sous-sol, où cette assise calcaire, qu'accompagne souvent le calcaire frasnien, est pressée des deux côtés par des massifs schisteux imperméables. L'élément BASSIN disparaît, *au point de vue hydrologique*, par suite des énormes profondeurs et des distances séparant les régions d'affleurement des bordures méridionale et septentrionale devoniennes de chacun des deux grands bassins de Namur et de Dinant. Pratiquement et au point de vue du régime aquifère, l'énorme périphérie de la bordure calcaire givetienne de ces deux grands bassins primaires de la Belgique peut être considérée comme représentant le cas d'une muraille assez continue de calcaire, fissurée et corrodée vers le haut, compacte et peu aquifère en profondeur, enserrée par deux autres murailles parallèles de sédiments imperméables.

Il va sans dire que cette disposition doit forcément amener l'établissement d'un *régime aquifère* TOUT AUTRE que celui des *cuvettes calcaires* du terrain carbonifère dans le bassin de Dinant (cas nullement général d'ailleurs, mais partiel dans les régions du Bocq et du Hoyoux).

Abandonnant ces généralités, cependant très utiles à noter, pour revenir au *vallon des Chantoirs* de Remouchamps, nous constatons, par la coupe à l'échelle proportionnelle (1) de la figure 5, que les massifs schisteux, l'un burnotien, l'autre famennien, qui enserrent ici le massif calcaire givetien, s'élèvent tous deux, surtout le premier, à des altitudes plus grandes que celles du calcaire au sein duquel se creuse le vallon des Chantoirs.

Les nombreux ruisseaux descendant des régions latérales, schisteuses et imperméables, et qui disparaissent subitement sous terre au contact de la bande centrale et déprimée calcaire (2) doivent *forcément*, pour y continuer souterrainement leurs cours et donner ainsi naissance à une

(1) Le relief des hauteurs du sol est exagéré au triple des altitudes comparatives réelles.

(2) Vers le Sud, c'est-à-dire dans la région voisine de Remouchamps et de sa grotte, le massif calcaire a partiellement échappé à l'érosion dans sa portion occidentale (voir fig. 5) et le sillon d'érosion du vallon y est assez étroit; mais *partout* au nord de la coupe transversale figurée, c'est-à-dire dans la région de Deigné et de Louveigné, l'ensemble du massif calcaire se présente sous forme d'une légère *dépression* générale, coïncidant avec le sillon formé par le vallon.

Digitized by Google

vallée sèche, trouver, sous le sol rocheux qui les engloutit, tout un lacis de fissures et de cavités communicantes et permettant leur facile circulation souterraine. C'est ce que montre la coupe que j'ai représentée dans la figure 5.

On peut admettre, en se basant sur de multiples cas analogues, constatés *de visu* dans des exploitations minérales, qu'*au contact* des schistes d'âges divers avec le massif calcaire intercalé, celui-ci, par suite de l'infiltration plus accentuée et de l'accumulation des eaux descendant le long de ces murailles obliques et imperméables du schiste, réfractaire à la corrosion, a dû être, en ces régions de contact, plus fortement attaqué qu'ailleurs, à cause de la concentration de l'action chimique sur la paroi calcaire. L'action dissolvante des eaux d'infiltration et de circulation souterraine a dû ainsi, en ces zones de surface calcaire, y amener un fort développement de canaux et de cavités aquifères (la fig. 5, tout en le montrant en A′ A″ n'accentue pas assez cette forte corrosion au *contact immédiat* des schistes).

Quant aux parties centrales du massif calcaire, considérées à partir d'une certaine profondeur, disposées en bancs réguliers et parallèles, peu ou point sujettes, sans doute, à ces accidents de tectonique si développés ailleurs dans les massifs calcaires, ployés, fracturés et disloqués, elles doivent ici être restées homogènes, compactes et étroitement soudées (voir fig. 5, en A) en même temps qu'elles sont, ici, très généralement, privées de failles et de cassures. L'isolement de cette masse calcaire centrale A entre les deux lits schisteux, dont nous avons parlé précédemment, n'est peut-être pas étranger non plus à cette différenciation.

A part quelques joints, peut-être restés plus au moins ouverts au sein de ces massifs étroitement soudés en profondeur, on peut difficilement se refuser à reconnaître — pour le cas ici étudié comme exemple de ce qui se passe dans la bordure calcaire givetienne de nos deux vastes bassins de Dinant et de Namur — que la régularité et la compacité en profondeur du massif devonien considéré doivent contrarier la formation *en profondeur* de ces nappes ou réservoirs aquifères, bien développés parfois, jusqu'à un certain point — et seulement lorsque se présente le cas de fissuration accentuée et continuée en profondeur — dans certains des bassins calcaires carbonifères du Condroz.

C'est à cette conclusion rationnelle d'absence de nappe qu'était arrivé M. Éd. Dupont dans son étude des calcaires de la région de Han-Rochefort.

Ici non plus, sous le vallon des Chantoirs de Remouchamps, nous ne saurions raisonnablement admettre l'important réservoir aquifère statique ou, à l'état de passivité et d'immobilité, la *nappe aquifère* notable qu'il a été possible de concéder ailleurs et d'y vérifier parfois, mais dont M. Verstraeten a le grand tort de vouloir faire un cas très général en Belgique.

Digitized by Google

Si l'on étudie avec soin ce qui doit normalement se passer, au point de vue HYDROLOGIQUE, au sein du massif calcaire du *vallon des Chantoirs*, on y reconnaîtra aisément trois ou plutôt quatre zones superposées et distinctes, mais dont les plus supérieures se relient en un même dispositif complexe et variable, qui n'est mis en action, dans son entièreté, que par des phénomènes intermittents ou plus au moins périodiques et saisonniers.

Je vais rapidement analyser, ci-dessous, cet intéressant régime aquifère *d'un très important type de disposition calcaire* dans notre pays. Il existe encore *trois ou quatre autres types de dispositions géologiques* amenant chaque fois de sensibles modifications dans le régime aquifère de nos calcaires belges. J'y reviendrai à loisir dans une étude ultérieure, dont certains éléments me manquent encore au point de vue expérimental.

Régime hydrologique du calcaire givetien, étudié dans le vallon des Chantoirs, à Remouchamps.

Nous reportant au plan (fig. 4), puis à la coupe (fig. 5) du vallon des Chantoirs, nous constatons qu'à une grande profondeur, on trouve la zone A pour ainsi dire privée d'eau dans cette région à bancs homogènes, compacts et étroitement soudés, que ne dérangent ni failles ni cassures, d'autant plus que ces bancs ne sont nullement englobés dans la région de ploiement d'un *synclinal* ou d'un *anticlinal* et ne font pas partie ici d'un massif tourmenté ni bouleversé. S'il y a, dans ces profondeurs, quelques joints plus au moins aquifères, ils ne peuvent être bien nombreux.

Sur les faces latérales, base et sommet du massif calcaire, en contact avec les schistes qui l'enserrent, l'habituelle zone de corrosion et de dissolution de tout calcaire en contact avec un massif peu ou point soluble sous l'action des eaux d'infiltration, fournit — comme le montre la figure 5 — les zones A′ et A″ contenant un lacis, s'accentuant de plus en plus vers le haut, de canaux et de cavités aquifères et contenant sans doute des eaux à circulation restreinte et très de faible vitesse de renouvellement.

Plus haut, en B, on arrive graduellement à un développement de canaux, de fissures élargies et parfois de cavités noyées dans le lacis aquifère développé à ce niveau. Ce réseau, sorte de *delta souterrain*, très fortement développé en longueur sous le thalweg du *vallon des Chantoirs*, constitue le drainage souterrain des dix-sept ruisseaux tributaires de la vallée sèche superficielle.

C'est l'une des maîtresses branches ou, peut-être, le tronc principal de ce delta souterrain qui, un peu plus en aval vers Remouchamps, est visible et accessible sur plus de 500 mètres dans la grotte de ce nom, où la rivière souterraine ainsi formée a reçu le nom de Rubicon. Les eaux de cette zone B doivent offrir le phénomène d'une circulation active, rapide même, bien que non directe, c'est-à-dire avec siphonnements, retenues

Digitized by Google

locales et dispersion latérale : les expériences de fluorescéine que j'ai commencées dans la région des chantoirs en font foi (1).

Le niveau C, représenté dans la figure 5 entre deux lignes pointillées, constitue la zone d'oscillation verticale du dispositif aquifère B, et l'on s'explique aisément d'ailleurs l'existence de variations saisonnières et temporaires du niveau des eaux en mouvement au sein du réseau fissuré et caverneux B, C, par suite du contraste des *débits du delta fluvial souterrain* en hiver et en été, ou bien, accidentellement, à la suite de pluies d'orages, etc. Les fluctuations de débit de *ces eaux courantes* souterraines sont ici indiquées en *minimum* et en *maximum* normal par les lignes pointillées enserrant la zone C.

Le débit minimum constituant la surface de la zone B est directement en relation avec le débit minimum des dix-sept ruisseaux tributaires de la vallée sèche dite des Chantoirs.

Le débit maximum *ordinaire*, indiqué par la ligne pointillée supérieure de la zone C, est fourni par l'accroissement hivernal de déversement des ruisseaux permanents se jetant dans le sous-sol de la vallée sèche et par le concours temporaire de ruisseaux supplémentaires tarissant en été. Ce débit maximum est en relation aussi avec des phénomènes accidentels ou périodiques, tels que les fontes simultanées de neige survenant dans tout le périmètre du bassin que drainent les ruisseaux tributaires de la vallée sèche et, enfin, tels que les ruissellements, en temps de pluie et surtout d'orages, des eaux qui ne peuvent s'infiltrer dans les *schistes* gedinniens, coblenziens, burnotiens, couviniens, frasniens et famenniens de l'énorme contrée à sol imperméable dont la *vallée des Chantoirs* constitue alors le seul exutoire. Seuls les rares bancs de poudingues et de grès (P et G) *affleurant au plateau* peuvent absorber une très minime partie de l'énorme masse de ces eaux de ruissellement.

Ces eaux, ainsi accumulées et glissant à la surface du sol, sont bien forcées de dévaler alors vers les pentes latérales de la dépression et de s'y perdre par les centaines de points d'engouffrement *temporaires* qui existent en dehors des grands chantoirs classiques de la région, et dont

(1) Il en est de même des expériences faites avec de la paille coupée, qui ont indiqué la présence de voûtes mouillantes souterraines, de siphonnements ne laissant pas passer des objets flottants.

La fluorescéine, elle, qui passe avec toute la masse de l'eau qu'elle colore, a montré une marche souterraine assez lente témoignant des nombreux détours, ralentissements et subdivisions de passage que l'eau de ces ruisseaux souterrains doit subir. Ainsi le chantoir de Sècheval est situé, à vol d'oiseau, à 1 kilomètre seulement de la sortie du *Rubicon* à la grotte de Remouchamps, et la fluorescéine a mis neuf heures pour accomplir le trajet souterrain correspondant à cette courte distance.

Dans la grotte même, la fluorescéine versée en amont du ruisseau souterrain, le Rubicon, a mis *une heure et quart* pour arriver au jour à la sortie, soit pour parcourir un peu plus de 560 mètres, dont la majeure partie en cours visible.

Digitized by Google

plus de cent déjà ont été reconnus et catalogués lors de mes premières recherches d'il y a quelques années.

La zone D représente l'épaisseur du massif calcaire parcourue par les canaux, fissures et cavités, dont seulement *un très petit nombre*, en temps ordinaire, et correspondant aux ruisseaux *permanents* qui s'y engouffrent été comme hiver, servent de canaux de circulation courante aux eaux qui de la surface vont alimenter les ruisseaux souterrains des niveaux B ou BC suivant la saison. L'immense majorité de ces canaux est VIDE en temps ordinaire ou obstrué par des cailloux ou par du limon amenés par les ruisseaux et par les déversements d'eaux superficielles ruisselantes.

Mais il arrive aussi parfois que des pluies torrentielles résultant d'un violent orage donnent lieu à de telles précipitations, pour ainsi dire instantanées, et dont le flot est animé d'une telle vitesse, que le réseau des canaux, crevasses et cavités des zones BCD ne peut suffire à recevoir l'afflux exceptionnel des eaux ainsi accumulées. *Alors seulement* on voit apparaître dans le thalweg du vallon un gros cours d'eau *extérieur*, s'y étalant dans un lit d'autant plus large et plus anormal que les précipitations atmosphériques ont été plus abondantes et plus générales dans le bassin.

Un fait terrifiant, survenu au printemps de l'année 1859, et qui a laissé de vivaces souvenirs chez de nombreux habitants du pays, a fourni l'occasion d'observer une calamité qui a transformé, pendant quelques heures, tout le régime hydrologique du vallon des Chantoirs. Une trombe d'une très grande violence a ravagé, le 17 mai 1859, toute la région d'amont, spécialement celle à sol schisteux couvinien, burnotien, coblenzien et gedinnien du flanc oriental du vallon. La phase intensive du phénomène n'a pas duré plus d'une demi-heure, mais les paquets d'eau qui, pendant une heure environ, se sont abattus sur ce sol imperméable, furent tels que, en un rien de temps, tout le réseau souterrain des zones B, C et D du massif calcaire fut complètement débordé, et, dès lors, une trombe d'eau ruisselant de toutes parts des flancs imperméables de la vallée, suivant toute sa longueur, s'accumula en un véritable fleuve torrentiel temporaire, submergeant tout sur son passage. Au rétrécissement rocheux qui avoisine la région de la grotte de Remouchamps, c'était comme un torrent impétueux qui s'élevait à plus de 2 mètres au-dessus de la route, causant les plus effrayants dégâts et dont, notamment, la noyade de cent cinquante moutons et de plusieurs vaches emportés par le courant, à Deigné, en amont de Remouchamps, fut l'un des lamentables épisodes (1).

(1) Une femme et son enfant, surpris à Deigné par le fleuve instantanément créé dans le paisible vallon des Chantoirs, furent emportés par le courant jusque dans l'Amblève, à plusieurs kilomètres de distance, mais, heureusement accrochés à une épave résistante, la mère et son bébé purent être sauvés après une dérive effrayante.

C'est à la femme Marie-J. Hallet, la belle-mère du garde forestier Toussaint Leclercq, qui m'a servi de guide dans la région, que l'accident est arrivé.

Digitized by Google

Il semble, au premier abord, que l'on pourrait trouver certaines analogies entre les divers éléments du régime hydrologique de la région dévonienne de Remouchamps et ceux des cuvettes calcaires et carbonifères du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse.

La zone B ou des cavités toujours pleines d'eau du vallon des Chantoirs paraît être l'équivalent morphologique de la zone *A* de notre *régime statique* ou de la partie « passive » ou inférieure des couches aquifères en bassins calcaires de M. Verstracten (p. 396, fig. I).

La zone C ou d'oscillation saisonnière supplémentaire de la figure 5 du vallon des Chantoirs paraît pouvoir être rapprochée de notre *trop-plein B* du niveau statique inférieur et, enfin, la zone D ou des canaux généralement vides, sauf en quelques points localisés de déversement permanent, semble correspondre fort bien à la zone *D* ou du *réseau circulatoire localisé* de la figure schématique (p. 396, fig. I) des bassins calcaires carbonifères du Condroz.

Mais il n'y a là que de simples *apparences* d'unification. En réalité, dans le cas très répandu et si bien représenté par l'exemple du calcaire devonien de Remouchamps, il n'y a *rien* qui soit l'équivalent des réservoirs à minime ou à nulle circulation et formant de véritables nappes dans le cas de la figure 1 (p. 396). Il n'y a ni nappes importantes ni trop-pleins *B* se déversant comme sources dans les vallées, et il n'y a ici, en tout et pour tout, que le développement considérable du *réseau circulatoire localisé* qui, dans le vallon des Chantoirs de Remouchamps, se subdivise en canaux de circulation rapide et constante B. Ceux-ci se rattachent à d'autres canaux C, où la même circulation s'opère lors de phases périodiques saisonnières ou accidentelles temporaires, et enfin ces derniers sont reliés, vers le haut, à la continuation D des mêmes canaux dont certains, très rares, fonctionnent constamment (engouffrement des ruisseaux permanents de la région) et dont les autres, innombrables, restés vides ou obstrués, peuvent, à titre exceptionnel, servir d'annexe temporaire au dispositif circulatoire général souterrain.

En somme, ce régime aquifère du calcaire devonien du vallon des Chantoirs de Remouchamps est aussi celui des calcaires devoniens de la région Han-Rochefort, si bien étudié par MM. Dupont et Willems, et c'est un cas qui se montrera certainement *très général* dans la ceinture calcaire givetienne de nos deux grands bassins primaires de Dinant et de Namur.

Ce régime aquifère, très caractéristique et général dans nos calcaires givetiens, est, comme on le voit, sensiblement différent de celui des massifs calcaires horizontaux ou faiblement inclinés, tels que ceux de la région de Tournai par exemple (1); il diffère très essentiellement aussi du régime

(1) Voir, dans la deuxième partie de la *Note additionnelle* n° 3, quelques détails nouveaux et complémentaires à ceux fournis précédemment (pp. 410 à 413 et pp. 417 à 423) sur le régime aquifère des calcaires horizontaux de la région de Tournai.

Digitized by Google

aquifère des calcaires disposés en étroits bassins isolés du terrain carbonifère du bassin de Dinant. Enfin, d'autres conditions se présentent encore, qui réclament une étude spéciale, tant pour les massifs disloqués et bouleversés du calcaire carbonifère de la vallée de la Meuse dans les régions ayant respectivement pour centre Namur et Dinant que pour les massifs, bien plus disloqués, faillés et étrangement tourmentés, du calcaire devonien de l'Ourthe, dans la région Xhoris, Hamoir, Vieuxville, Bomal et Durbuy, soit au sud-ouest de Remouchamps, où M. Fourmarier vient de mettre si nettement en lumière les étonnantes allures multifaillées de cette curieuse partie de la bordure orientale calcaire du bassin de Dinant (1).

Il sera facile de montrer, dans une étude ultérieure, que ce ne sont pas seulement les diversités de *dispositions géologiques* des massifs calcaires qui provoquent des différences sensibles, *certains contrastes* même, entre les caractères régionaux et locaux du régime aquifère des massifs calcaires, mais aussi les variations de leur *mode d'origine* ou de *formation* et celles de leur *composition chimique* et *lithologique*. Le type de fissuration, de jointage, de corrosion, ainsi que le régime aquifère d'un calcaire *construit* ne sont pas ceux d'un calcaire *stratifié*; ceux d'un calcaire *dolomitique* diffèrent de ceux qui se rencontrent dans un calcaire *non magnésien*, etc.

Plus on étudie le sujet, plus on se pénètre de ce principe que la *localisation*, la *différenciation* des *régimes* et des *phénomènes* sont la CARACTÉRISTIQUE de l'hydrologie comme aussi de la spéléologie des calcaires; cette différenciation influe nettement sur les allures et sur les caractères du *réseau aquifère circulatoire* qui les parcourt, ainsi que sur les déversements et débits de leurs eaux sous forme de sources ou de réapparitions au jour.

Quant aux vaines tentatives de M. l'ingénieur Verstraeten de tout confondre *en un cas unique et constant* et de l'unifier avec le régime aquifère des *dépôts meubles*, qu'en reste-il, sinon le profond étonnement que provoque une pareille méprise sur une thèse au sujet de laquelle les *faits* fournissent des preuves si aisément et si universellement vérifiables et en opposition *formelle* avec ses conclusions.

S'il m'a fallu rappeler ici ces données s'appliquant à la Belgique, c'est afin de montrer combien nous étions en droit, M. Rutot et moi, d'opposer, aux vues si peu fondées de notre contradicteur, l'avis et les citations que nous avaient fournis, pour notre exposé du 12 novembre 1895, les nombreux auteurs classiques qui, *sans avoir parlé des régions de Han-Rochefort et des bassins calcaires du Hoyoux et du Bocq*, avaient formulé avec un ensemble parfait les bases scientifiques et justifiées de l'hydrologie des calcaires rocheux belges aussi bien qu'étrangers.

(1) *Étude du Givetien et de la partie inférieure du Frasnien au bord oriental du bassin de Dinant*, par P. FOURMARIER. (ANN. SOC. GÉOLOG. DE BELGIQUE, t. XXVII; MÉMOIRES, 1899-1900, pp. 49-110, pl. I.)

Digitized by Google

Le rôle de la géologie dans les recherches et dans les travaux d'hydrologie appliquée, spécialement dans l'étude des ressources aquifères des terrains calcaires.

Les cinq dernières pages de la « réponse » de M. Verstraeten qui, sous la rubrique significative : *Rôle de l'ingénieur en hydrologie*, clôturent la seconde partie de son exposé, ont une portée toute spéciale.

Dans ces cinq pages finales, l'auteur semble avoir pour but d'établir que, d'après notre thèse, le géologue devrait chercher à supplanter l'ingénieur dans l'élaboration des projets de travaux d'eaux alimentaires. Il prend nettement à partie le géologue qui voudrait jouer un rôle conforme à celui que j'ai tracé dans mon programme de 1890, rôle pour lequel le dit géologue, d'après M. Verstraeten, « ne possède ni le savoir nécessaire ni l'expérience voulue ».

Il faut, conclut mon honorable contradicteur, que

la responsabilité de l'ingénieur reste entière : c'est là une nécessité administrative... Agir différemment, comme le voudraient sans aucune bonne raison nos Secrétaires (c'est de M. Rutot et de moi qu'il s'agit), c'est entamer et traverser (*sic*) cette responsabilité; c'est créer le gâchis, c'est nuire à l'intérêt général, c'est ruiner l'unité d'action et compromettre les opérations les plus simples.

Bref, il semble que l'auteur va ajouter : C'est la fin du monde!

Mais aussi M. Verstraeten complète son cri d'alarme en disant « qu'il a déjà combattu cette *tendance désorganisatrice* », que, malgré ses protestations, « elle vient d'être reprise avec ostentation » et, enfin, « qu'il croit devoir combattre encore, afin qu'on ne pût soutenir un jour qu'elle reçut une faveur quelconque dans une compagnie de gens sérieux, éprise d'intérêt public ».

Qu'est-ce maintenant qui a pu motiver ces appréciations si pessimistes?

Faut-il y voir le reflet d'une répugnance professionnelle que semble avoir M. Verstraeten à admettre qu'en matière de *géologie et d'hydrologie appliquées* un ingénieur puisse trouver quelque utilité dans le concours effectif d'un géologue professionnel ou quelque peu expérimenté?

Il semble plutôt qu'il y a dans tout ceci soit un *malentendu*, soit une *interprétation inexacte* de ma pensée. Une rectification ou un éclaircissement s'impose donc vis-à-vis des lecteurs que M. Verstraeten aurait pu réussir à rallier à ses étonnantes appréciations sur ma thèse de 1890.

A ce point de vue même, la remise au point du débat terminal, dont M. Verstraeten a fait visiblement le point culminant et le but final de toute sa « Réponse à MM. Rutot et Van den Broeck », ne sera pas sans intérêt, je pense, pour de nombreux groupes de lecteurs : géologues, hydrologues,

Digitized by Google

ingénieurs et techniciens, administrations provinciales, communales et sociétés diverses ayant dans leur attribution les travaux d'eaux alimentaires, surtout en *terrains calcaires,* objet pour ainsi dire exclusif du débat.

Il y a, bien entendu, mieux à faire qu'à maintenir celui-ci dans la note assez personnelle où l'a, en réalité, placé M. Verstraeten. Mais puisque malentendu il y a et qu'en le dissipant je vais pouvoir réduire à néant les accusations de « tendances désorganisatrices » et « d'empiétements de rôles » formulés par M. Verstraeten, il conviendra, au plus grand avantage de tous et surtout des intéressés qui réclament des projets aussi complètement étudiés que possible, de profiter de l'occasion pour déterminer nettement le *rôle du géologue* en matière de travaux de recherche d'eaux souterraines alimentaires, spécialement en terrains calcaires.

Ceci me fournira, on le verra, l'occasion de montrer du même coup que sur ce sujet, comme sur tous les autres d'ailleurs, passés successivement en revue dans le présent travail, mon collègue M. Rutot et moi sommes *parfaitement d'accord* avec les autorités scientifiques et techniques les plus incontestées. C'est absolument en conformité d'opinion avec ces autorités que nous avons insisté sur le rôle *capital* et *prépondérant* du géologue lorsqu'il s'agit de la recherche, de l'étude et de l'utilisation des eaux souterraines, surtout en terrains calcaires. Ce rôle du géologue, qui devient pour ainsi dire nul lorsqu'il s'agit par exemple d'utiliser des eaux de rivières, est au contraire d'importance primordiale lorsqu'il s'agit de drainage souterrain et de captage de sources. C'est au géologue seul qu'il appartient souvent dans ce cas de fournir les bases scientifiques essentielles des projets d'utilisation d'eaux alimentaires, dont l'édification technique ultérieure et la mise sur pied pratique constituent le domaine exclusif de l'ingénieur.

Suivons maintenant M. Verstraeten dans son argumentation.

Une brochure jubilaire, pour laquelle certainement M. Rutot et moi avons fourni des éléments, mais qui a été rédigée et publiée par les soins de notre confrère M. l'ingénieur *J. Hans,* a paru en février 1897, à l'occasion du Xme anniversaire de la fondation à Bruxelles de notre Société (1).

Cette brochure, intitulée : *A quoi peut servir une Société de géologie,* retrace à grands traits l'historique des travaux de la Société belge de géologie et mentionne particulièrement, parmi les diverses branches de son activité, les nombreux travaux qu'elle a consacrés aux multiples

(1) *A quoi peut servir une Société de Géologie* dans le domaine des applications pratiques? Notice sur la Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie pendant les dix premières années de son existence, par *J. Hans,* ingénieur civil, membre du Conseil de la Société belge de géologie. (Bruxelles, Polleunis et Ceuterick, 1897, br. in-8°, 48 - XXXVI pages. Reproduit dans le tome X de 1896 du *Bulletin.*)

Digitized by Google

applications de la science. C'est dire toute l'importance qu'y prend l'*hydrologie*.

M. Hans n'a pas manqué d'y reproduire le très bon *programme d'études hydrologiques* proposé chez nous en 1889 par M. Verstraeten, et il lui en laisse naturellement tout l'honneur (p. 16 de la brochure).

Mais le souci des intérêts publics, en matière d'hydrologie appliquée et de travaux d'eaux alimentaires, a aussi engagé M. *Hans* — et non MM. Rutot et Van den Broeck — à reproduire les trois premiers paragraphes d'une étude que j'ai publiée, en 1890, à l'occasion de l'examen du projet dit du Hoyoux et des sources de Modave (1), étude au cours de laquelle je m'élève vivement contre le procédé opératoire, trop souvent suivi, tantôt par des ingénieurs et par des hydrologues, tantôt par des administrations communales et autres, ayant en vue des travaux de recherche et de captation d'eaux alimentaires souterraines.

J'ouvre ici une parenthèse pour *affirmer* à nouveau que de tels travaux sont encore trop souvent complètement élaborés, mis sur pied et *présentés à la sanction administrative* des *pouvoirs publics*, sans qu'aucune garantie ne soit fournie au sujet de leur *base scientifique* en ce qui concerne la géologie et l'hydrologie; les auteurs s'étant bornés à utiliser quelques données générales ou à s'informer auprès des spécialistes, dans la mesure QUI LEUR PARAÎT *convenir et suffire*, alors que souvent ils eussent dû faire appel à une véritable collaboration, à une étude sérieuse et approfondie, pour laquelle le géologue seul possède la compétence requise. Et ceci est surtout le cas lorsque intervient le régime aquifère des calcaires rocheux ou crayeux. Faut-il rappeler le détail des constatations de l'espèce que, tant de fois déjà, la Société belge de géologie a pu faire lorsque des administrations provinciales, communales et autres l'ont priée de les éclairer sur la *valeur scientifique* des projets soumis à leur approbation (2). Comme presque constamment la Société nous a délégués, M. *Rutot* et moi, à l'effet de procéder à ces examens et de vérifier les données géologiques des projets, dont beaucoup ont été reconnus inexécutables ou mal compris, et comme de la sorte nous avons pu constater, avec pièces à l'appui, les illusions que se font certains auteurs de projets, nous avons donc pu acquérir ainsi quelque expérience en la matière! C'est donc *en connaissance de cause* que j'ai pu écrire dès 1890, à la suite de la partie de mon texte reproduite par M. Verstraeten, que bien souvent « des » auteurs de projets ont consacré beaucoup de temps et d'argent à élaborer » des projets dont la *base rationnelle* faisait défaut », alors que la marche que je venais d'indiquer « leur eût permis de modifier leurs projets de » manière à les rendre admissibles et aptes à faire l'objet d'un examen » approfondi ».

(1) *Loc. cit.*, voir page 440, note 1.

(2) Voir, du moins pour la période 1887 à 1896, la brochure : *A quoi peut servir, etc.*

Digitized by Google

Dans ma note de 1890, la critique ci-dessus — que passe sous silence M. Verstraeten — était précédée de deux paragraphes, — reproduits, commentés et discutés par lui, — dans lesquels j'indiquais sommairement ce qui me paraissait, et me paraît toujours être, la MARCHE RATIONNELLE à suivre dans l'étude scientifique d'un projet de drainage d'eaux alimentaires; je dis l'*étude scientifique,* car je ne me suis nullement occupé, et pour cause, de l'*étude technique,* qui normalement doit suivre et qui est uniquement de la compétence de l'ingénieur.

Or, sans faire le moins du monde allusion aux importants paragraphes de mon exposé de 1890, qui suivent et complètent la thèse fournie dans mon entrée en matières et en déterminent nettement la portée, — d'ordre exclusivement scientifique, — M. Verstraeten reproduit simplement et aussi FORT INEXACTEMENT — ce qui lui permet de les combattre plus aisément — les dits premiers paragraphes de mon exposé. Si j'insiste sur cette incorrection du polémiste, c'est que, grâce à une série de passages transposés en italiques sans prévenir le lecteur de cette altération du texte, — passages savamment disposés et combinés avec l'artifice bien simple mais habile d'une *ponctuation modifiée,* — M. Verstraeten est arrivé à faire attribuer à ma pensée un sens différent de celui que je lui avais donné!

En ce qui concerne la reproduction dans la brochure jubilaire de la Société des passages rappelant ma thèse de 1890 sur le rôle des géologues en matière de drainages d'eaux alimentaires, est-il bien correct de nous la reprocher, alors que M. Verstraeten a devant lui l'auteur de la brochure, son signataire responsable : M. l'ingénieur *J. Hans?* D'autre part encore, notre honorable contradicteur, qui rappelle complaisamment son *programme d'études hydrologiques* présenté en 1889 à la Société, n'a garde de signaler ou même de laisser entendre que ce programme se trouve intégralement reproduit dans la même brochure jubilaire. Sa manière de rappeler ce programme et de le fournir comme une sorte de protestation tendrait plutôt à laisser croire qu'il faudrait en regretter l'*absence* dans la brochure en question!

Voici maintenant le texte de mon exposé de 1890, qui a si fort irrité M. Verstraeten et qu'il a interprété comme une tendance à l'ingérence inadmissible du géologue dans les travaux de l'ingénieur :

L'étude d'un projet de drainage ou de captation d'eau comprend des points de vue très divers. La marche rationnelle consiste à s'adresser d'abord à la GÉOLOGIE, *qui détermine la structure et les relations générales des couches, ainsi que leurs relations avec les nappes ou ressources aquifères qu'elles contiennent, qui permet de dresser des coupes rationnelles des terrains, de déterminer leurs conditions de perméabilité ou d'imperméabilité, ainsi que les difficultés qu'elles offriront aux travaux de mine,*

Digitized by Google

*de fouille, de construction, etc. Vient ensuite l'*HYDROLOGIE, *qui procure le nivellement, le fractionnement des nappes, les quantités d'eau disponibles, le débit moyen avec les minima. La* CHIMIE *et la* BACTÉRIOLOGIE *doivent intervenir ensuite pour déterminer la composition des eaux et les variations qu'elles peuvent présenter périodiquement, leur nocivité ou leur innocuité au point de vue hygiénique.*

*C'est seulement lorsque ces éléments sont acquis que l'*INGÉNIEUR *devrait entrer en ligne pour rechercher les conditions d'établissement les plus favorables et les mieux appropriées aux données géologiques et hydrologiques. Son projet, établi alors sur des bases sûres, peut être livré ensuite aux* FINANCIERS, *aux* AUTORITÉS COMPÉTENTES *et aux conseils* JURIDIQUES, *dont le rôle est tout indiqué.*

C'est là tout ce que M. Verstraeten a reproduit de mon exposé de 1890, et comment l'a-t-il fait! En soulignant seulement, pour travestir ma pensée, une partie de ma phrase, altérée par un *changement de ponctuation* qui dénature toute la portée de l'idée!

Voici, en effet, comment il reproduit, souligne et ponctue le premier membre de phrase de mon second paragraphe :

« *C'est seulement lorsque ces éléments sont acquis que l'ingénieur devrait* » *entrer en ligne*, pour rechercher les conditions d'établissement, etc. ».

Ainsi présentée, la phrase veut nettement dire qu'antérieurement l'ingénieur n'aurait pas eu à intervenir en quoi que ce soit dans l'élaboration première du projet, qu'il recevrait donc des mains du géologue, tout fait, entièrement dressé et absolument mis au point. Or, dans les conditions actuelles et ordinaires de *genèse* d'un projet, d'une étude de distribution d'eau, *en Belgique*, un tel processus, quelque rationnel qu'il soit, ne serait guère réalisable. Dans la plupart des communes et des petites villes, quels sont en effet ceux de leurs édiles qui se doutent seulement du rôle capital que doit jouer la *géologie* dans l'étude préalable d'un projet de drainage souterrain? Tout le monde connaît et estime avec raison nos savants ingénieurs, et l'on s'adresse régulièrement à eux; croyant qu'ils possèdent autant d'aptitudes et de connaissances pour apprécier ce qui se passe *sous terre* qu'ils en montrent généralement pour l'exécution technique des projets (1). Qui alors, en dehors des grands centres, plus

(1) Il est à remarquer qu'en Belgique, il est pour ainsi dire EXCEPTIONNEL qu'un *ingénieur des mines* se soit occupé de dresser des projets d'alimentation en eau potable. Ce sont généralement des ingénieurs civils, des ingénieurs des ponts et chaussées et surtout des ingénieurs hydrauliciens — ceux, en un mot, qui n'ont pas, autant que les premiers, l'occasion d'étudier la géologie « souterraine » — qui ont la spécialité, chez nous, de s'occuper de ces travaux; ou bien encore des personnes s'attribuant, pour leurs convenances personnelles, le titre d'ingénieur, qui, d'ailleurs,

Digitized by Google

éclairés, songerait, avant de faire appel aux ingénieurs et à leurs projets, à réclamer les lumières préalables du géologue? Ce n'est donc, en pratique, que lorsqu'un premier travail d'enquête et de recherches techniques financières et administratives a été fait par l'ingénieur que commence généralement en fait, et le plus souvent *sans* le concours de la géologie, l'élaboration dite scientifique du projet.

Tantôt ce sera l'auteur de celui-ci qui consultera le géologue sur ce qu'*il croira* constituer la clef du problème souterrain ; tantôt ce sera la commune elle-même qui réclamera son concours, désireuse qu'elle sera d'avoir quelque garantie supplémentaire.

Mais assez souvent, comme je le disais en 1890, le projet est fait, terminé et soumis à l'autorité supérieure *sans que le géologue ait eu à intervenir*, sans que le criterium géologique ait été abordé sérieusement..., et alors seulement le géologue, consulté après coup par l'autorité supérieure, soucieuse de l'hygiène et des intérêts publics, se verra, en conscience, forcé de déclarer parfois stériles et inacceptables les fruits de tant d'études, de recherches et de labeur mal dirigés et ayant négligé d'aborder les éléments essentiels et primordiaux du problème.

Malgré l'avantage énorme qu'il y aurait donc à considérer la *consultation géologique* comme PRÉALABLE à toute étude technique, j'ai dû, en 1890, considérant ce qui se passe en l'occurrence *neuf fois sur dix* en Belgique, m'astreindre à ne réclamer absolument le pas pour la géologie que pour ce qui concerne *la phase d'élaboration* SCIENTIFIQUE. C'est du moins ainsi que doit s'interpréter pratiquement l'application de mon programme de 1890, faute d'en pouvoir faire chez nous l'application stricte et absolue, qui reste *le véritable idéal du processus opératoire*.

Si M. Verstraeten avait équitablement reproduit les deux paragraphes

est du domaine public. Les remarques du texte ci-dessus seraient sans doute moins justifiées en France, ou dans d'autres pays, où les *ingénieurs des mines*, mettant à profit leurs connaissances géologiques, plus spécialement développées, s'occupent assez fréquemment de ces sortes de travaux d'hydrologie souterraine appliquée.

Il est à remarquer qu'en France aussi, un grand nombre d'ingénieurs des mines sont, comme c'est d'ailleurs le cas pour assez bien d'entre eux en Belgique, des géologues pratiquants distingués qui, en l'occurrence, pourraient se charger seuls de l'étude géologique complète et détaillée d'un projet de drainage alimentaire souterrain.

La récente institution, à l'université de Liége, du diplôme d'*ingénieur-géologue* et la manière brillante dont sont donnés les cours qui en permettent l'obtention, font espérer qu'avant peu d'années les travaux de drainage souterrain pourront trouver en Belgique une pépinière de spécialistes parfaitement à même de traiter dans leur intégralité les difficiles problèmes que présentent les travaux de drainage alimentaire souterrain. Ce sera d'autant plus utile que ceux-ci se multiplient de plus en plus, en Belgique, en raison directe de la diminution graduelle des ressources aisément accessibles en eaux potables et du développement des connaissances hygiéniques, même dans les plus petites communes, qui, l'une après l'autre, demandent d'être alimentées d'eaux soustraites aux causes de pollution.

Digitized by Google

qui, dans mon texte, suivent immédiatement ceux qu'il fournit, il n'aurait guère réussi à interpréter inexactement la situation.

J'ai fourni plus haut, dans quatre lignes entre guillemets (pp. 458-459), le premier de ces paragraphes complémentaires et de mise au point. Voici l'autre :

Au sein de la Société belge de géologie, il ne peut être question d'apprécier la valeur pratique d'un projet pris dans son ensemble. Cela résulte à l'évidence de l'exposé ci-dessus. *Seuls les points de vue* GÉOLOGIQUE, HYDROLOGIQUE et CHIMIQUE *peuvent faire l'objet de nos études.* Certes un projet satisfaisant aux desiderata correspondant à ces trois éléments fondamentaux peut techniquement et financièrement n'être pas exécutable; c'est ce qu'il appartient éventuellement aux ingénieurs, administrateurs et financiers de vérifier; mais l'étude rationnelle, telle qu'elle est ici proposée, *aura toujours l'immense avantage d'éviter de soumettre à de longues et coûteuses études techniques, à la discussion publique — et parfois politique — ainsi qu'au choc d'intérêts personnels et administratifs contradictoires, des projets inexécutables, auxquels* LA BASE SCIENTIFIQUE *ferait défaut.*

Dans la première phrase *ici* soulignée, les mots reproduits en petites capitales se trouvaient indiqués en italiques dans mon texte de 1890 et montraient que tout l'ensemble des considérations émises ne s'appliquait nullement à l'élaboration technique du projet, mais seulement à son *étude scientifique,* spécialement géologique et hydrologique. Quant à la dernière phrase *ici* reproduite en italiques, elle résume les inconvénients — trop fréquents — de la marche ordinairement suivie.

Dans les pages dont il fait suivre la reproduction partielle et inexacte de mon exposé de 1890, M. Verstraeten refait la genèse de l'élaboration d'un projet en *terrain calcaire* et tente de discuter, point par point, (pp. 33-35 de l'extrait du Recueil gantois) une application — qu'il essaie de présenter comme rationnelle — des idées émises par moi.

S'emparant pour cela, pour les présenter à sa manière, des divers faits et des phrases d'exposés scientifiques que j'ai commentées et remises au point précédemment (pp. 404 et 406), et amplifiant leur portée dans le présent litige; méconnaissant d'autre part l'existence de *cas différents* qui, pour les calcaires, peuvent et doivent même donner lieu à des *appréciations divergentes* suivant le cas considéré, M. Verstraeten cherche à faire croire que les géologues qu'il a critiqués ne parviendraient pas à se mettre d'accord pour fournir une « base sûre » aux données scientifiques du problème. Et d'après lui, si quelqu'un devait être en défaut, ce ne pourrait assurément être que M. A. Rutot et moi! Pour en arriver à cela, M. Verstraeten imagine une série de situations peu conformes à la réalité des faits : il attribue aux géologues qu'il combat la responsabilité de l'*exagération* de faits réels et indiscutables (tels le débit considérable des sources du calcaire du Hoyoux et la possibilité de l'empiétement souterrain des bassins calcaires). Il critique enfin, faute de l'avoir comprise (voir p. 398),

Digitized by Google

notre prétendue conception hydrologique nouvelle. Il transmet insidieusement, de la part de M. Dupont, aux *ingénieurs* et aux *entrepreneurs de projets*, les conseils rationnels donnés par ce géologue aux *paysans* et relatifs à leurs puits; bref, M. Verstraeten s'ingénie à jeter une complète suspicion sur les connaissances scientifiques, l'expérience et les conseils émanant des géologues qu'il se complaît à présenter comme *profondément divisés* sur les bases scientifiques de l'hydrologie des calcaires!

J'avais, en 1890, parlé d'une « *marche rationnelle* », qui consistait, dans l'étude d'un projet de drainage d'eaux alimentaires, à s'adresser tout d'abord à la géologie. M. Verstraeten, qui laisse croire qu'en suivant cet avis il se serait trouvé en présence de DEUX « marches rationnelles » mais *diamétralement opposées*, arrive ainsi à sa conclusion tant désirée, que ces deux marches opposées « sont de nature à rendre perplexes les ingénieurs » et, en attendant, ajoute-t-il, que la foi lui vienne, il propose à « ses confrères du génie » de garder encore en considération la *vieille marche*, qu'il va brièvement rappeler comme suit :

Quand un ingénieur est chargé d'une *question de distribution d'eau* pour une commune par exemple, c'est avec cette commune même et non avec la géologie qu'il doit commencer la série de ses investigations.

Il en relève toutes les *conditions particulières constitutionnelles;* il rapporte ses *besoins d'eau,* publics, domestiques, industriels, comme qualité et quantité; il note ses *moyens actuels d'alimentation* par puits, citernes, etc.; apprécie ses *économies disponibles* pour les adductions nouvelles convoitées, la « faculté payante » des habitants, etc.

Mais qui donc songerait jamais, en Belgique, sans le concours efficace d'un *règlement administratif* ou d'une *loi* sur la matière, à réclamer des communes l'intelligente initiative de s'adresser préalablement, et pour information scientifique, au géologue, avant de réclamer un projet à l'ingénieur; ou encore à faire imposer par les communes la collaboration d'un géologue aux travaux de l'ingénieur? Il faut donc bien se résoudre à laisser, dans l'état actuel des choses, les communes, du moins les centres de moyenne importance, qui souvent même ignorent l'existence du géologue, s'adresser aux ingénieurs pour commencer l'élaboration *technique* des projets. Qui d'ailleurs songerait à vouloir faire réunir par le géologue les éléments de pure statistique technique et administrative qui n'ont rien à voir avec l'*étude scientifique* du projet, dont l'élaboration proprement dite doit suivre ce premier groupement d'éléments préalables. Je disais nettement, ligne 3 du 4e § de mon Exposé de 1890 : « *Seuls* les points de vue *géologique, hydrologique* et *chimique* peuvent faire partie de nos études » (1),

(1) Je parlais ici des membres de la *Société belge de géologie* appelés à apprécier la valeur scientifique de certains projets et qui comptent dans leurs rangs plusieurs hydrologues et chimistes distingués, dont le concours pouvait en l'occurrence être requis.

Digitized by Google

et la *base rationnelle* dont je parlais dans le paragraphe précédent est la *base scientifique*, qui n'a rien de commun avec le *travail de statistique administrative et technique*. Celui-ci, j'en suis parfaitement d'accord avec M. Verstraeten, est exclusivement du domaine de l'ingénieur et peut, même sans inconvénient grave, précéder parfois l'étude scientifique du projet.

Mais revenons à M. Verstraeten, qui poursuit ainsi :

Il (l'ingénieur) établit ensuite la *météorologie* de la contrée; s'enquiert surtout des périodes les plus longuement arides; consulte les observatoires de la région; et, pourvu de toutes les données recueillies à cet effet, monte à l'observatoire général du pays, pour les contrôler, les corriger, les compléter.

Comme nous restons toujours ici dans le domaine des *faits accessibles* et de la *statistique courante*, personne ne contestera que l'ingénieur soit à même de s'occuper avec compétence de tout ce qui concerne les *chutes pluviales* et par conséquent de la *météorologie*.

Cela n'aura guère d'inconvénient en matière de *bassins à dépôts meubles*, dont le régime hydrologique, peu compliqué, ne présentera à l'ingénieur que des problèmes avec lesquels il est très fréquemment familiarisé et dont la *géologie* même est aisément accessible à l'ingénieur quelque peu expérimenté ou porté à se renseigner auprès des géologues.

Mais, déjà dans les *bassins rocheux calcaires*, bien des conditions changent, comme celles existant entre le rapport de la chute pluviale calculée d'après la superficie des bassins superficiels et le débit des sources! (1) Le géologue, bien mieux que l'ingénieur, se rendra compte d'une série complexe de phénomènes souterrains, de cheminements, d'absence ou d'accumulation d'eaux, guidés variablement par des *conditions géologiques spéciales* et partout *variables* et *différentes*. On le voit, dès que le *côté scientifique apparaît* et qu'il s'agit de rechercher ou d'interpréter ce qui se passe *sous terre*, le rôle du GÉOLOGUE s'indique et s'affirme : *lui seul* est à même de guider l'ingénieur, surtout dans les cas, toujours très scabreux, que présente le régime aquifère des calcaires.

A quoi sert à l'ingénieur — pour le cas considéré de projets en terrains rocheux de cette nature — d'avoir établi avec précision ce qu'il tombe d'eau et quels sont les minima et maxima pluviométriques, s'il reste ignorer ou s'il interprète d'une façon inexacte tout le *processus d'infiltration* et de *circulation souterraine* qui, dans les calcaires, se montre si radicalement distinct de ce qu'il est en terrains meubles!

Et combien n'avais-je pas raison de conclure, en 1890, que les *bases sûres*, la *marche rationnelle* d'un projet de l'espèce doivent dépendre du

(1) Voir, à ce sujet, dans la 2e partie de la NOTE ADDITIONNELLE n° 2, combien sont *illusoires* les chiffres du prétendu rendement à l'*hectare-jour* lorsqu'il s'agit de massifs rocheux calcaires plissés, fissurés et redressés.

Digitized by Google

concours INITIAL du *géologue* dès que l'on aborde, dans l'élaboration des projets, le côté *scientifique* de la question.

On verra, à la fin de cet exposé, quelle ÉCLATANTE ET HAUTE CONFIRMATION je suis heureux de pouvoir signaler à l'appui de mes vues.

Mais continuons à suivre M. Verstraeten dans l'exposé de sa *vieille marche :*

Puis il (l'ingénieur) passe à l'*examen topographique, orographique, géologique, lithologique,* etc.; il PRESSE DE QUESTIONS TOUS LES SAVANTS ET PRATICIENS DE L'ENDROIT au point de vue des solutions possibles.

L'auteur expose ensuite comment l'ingénieur reconstitue l'hydrologie spéciale de la contrée, — et il admet d'ailleurs que pour ses études ultérieures, géologique et hydrologique, — il devra « CONSULTER TOUTES LES COMPÉTENCES ».

Il termine enfin, en ajoutant :

C'est alors, et alors seulement que l'hydrologue aura des *bases sûres* ou réputées telles, qu'il pourra arrêter le choix du projet définitif et « marcher de l'avant » dans la voie des travaux où, souvent, MALGRÉ LA PRÉPARATION LA PLUS CONSCIENCIEUSE, LES LEÇONS LES PLUS DURES METTRONT A L'ÉPREUVE SON INGÉNIOSITÉ ET SA CONSTANCE.

N'est-ce pas là un aveu forcé, bien mélancolique, que celui indiqué par le rapprochement des deux passages que j'ai reproduits en petites capitales et qui montre que le système consistant à « presser de questions les savants et les praticiens de l'endroit » et à « consulter toutes les compétences » n'aboutit encore souvent qu'à une préparation scientifique insuffisante, qui expose à subir, lors de l'exécution des travaux, de *dures leçons !* C'est là, il faut en convenir, un singulier cri de triomphe en faveur du procédé que M. Verstraeten préconise et oppose au mien.

La *vieille marche* de l'ingénieur n'a décidément rien de *triomphal !*

Ce que M. Verstraeten n'a pas compris, c'est que, surtout en matière d'hydrologie des calcaires, l'ingénieur est absolument incapable — à moins d'avoir fait des études géologiques spéciales à ce sujet — de se rendre compte des très grandes et très réelles difficultés de l'allure souterraine des terrains et des eaux. Presser de questions les savants, consulter les compétences pour en obtenir des renseignements, n'aboutit à rien de bien sérieux lorsqu'on ignore exactement *ce qu'il faut demander* au géologue et *quelles sont les conditions réelles des problèmes dérobés à la vue,* problèmes dont l'interprétation rationnelle est strictement du domaine de la géologie. Bien souvent même, le géologue le plus compétent conservera des doutes et des hésitations : l'*imprévu* n'est que trop souvent un facteur à considérer dans les allures souterraines des calcaires et de leurs eaux, surtout lorsqu'il s'agit, comme c'est fréquemment le cas en Belgique, de calcaires repliés, redressés et disloqués. Si le géologue doit, de bonne foi, reconnaître que ce genre d'études est difficile et

Digitized by Google

réclame de sa part une enquête approfondie et détaillée, au service de laquelle il devra parfois mettre en œuvre toutes ses connaissances spéciales et son expérience professionnelle, combien ne se trouvera pas à côté de lui, en état d'absolue infériorité, l'ingénieur non familiarisé avec ces difficiles énigmes souterraines, et combien plus encore serait incapable de les résoudre celui qui, comme M. Verstraeten, se met lui-même en mauvaise posture en professant obstinément des vues et des thèses rejetées comme FAUSSES par l'*universalité* des *géologues*.

*La conclusion formelle de cet exposé est que si, lorsqu'il s'agit de dépôts meubles, l'*INGÉNIEUR *consciencieux peut trouver quelque utilité dans le* CONCOURS INITIAL DU GÉOLOGUE *pour l'élaboration scientifique des « bases sûres » d'un projet de recherche d'eaux alimentaires, ce concours préalable lui devient* INDISPENSABLE *lorsqu'il aborde l'étude compliquée du régime hydrologique des terrains rocheux calcaires, plissés, fissurés et redressés.*

Ces vérités, je les énonce ici, d'accord avec un bon nombre d'auteurs, d'ingénieurs et de spécialistes les plus éminents, avec la citation du texte desquels je clôturerai le présent exposé.

Et que l'on ne croie pas que ce sont seulement les géologues qui parlent ainsi. Ingénieurs et hydrologues ne manquent pas, et non des moins estimés, qui sont du même avis, et ce sont surtout leurs textes que je vais reproduire plus loin.

Si je vais être amené à m'attarder quelque peu, à l'occasion des *extraits* que va me fournir le premier d'entre eux, M. l'ingénieur *E. Putzeys*, c'est parce que ces extraits vont utilement m'entraîner à retracer un rapide

Aperçu historique des travaux de drainage alimentaire de la Ville de Bruxelles.

Qu'on me permette toutefois, avant d'y arriver, de rappeler d'abord ce que dit du rôle des géologues M. E. Putzeys, le distingué ingénieur en chef des travaux et du service des eaux de la ville de Bruxelles, dans son *Étude sur les vallées de l'Ourthe, du Hoyoux et du Bocq* (1).

(P. 8.) On ne peut qu'applaudir à la décision récemment prise par le Gouvernement d'ouvrir une enquête sur la question des eaux en Belgique; je crois qu'elle mettra en lumière certains faits dont la salubrité générale est appelée à bénéficier, *si des géologues sont appelés à participer à cette importante étude.*

L'auteur a souligné lui-même cette dernière partie de sa phrase.

... La condamnation de certaines sources ... prouve une fois de plus que les problèmes ayant pour objet le captage d'eaux élaborées en sous-sol sont *du domaine de*

(1) *Loc. cit.*, voir page 437, note 3.

Digitized by Google

la géologie, tout aussi bien que s'il s'agissait de la prise de possession d'un minerai enfoui dans les profondeurs du sol. Malheureusement, un *amour-propre mal placé, parfois aussi une trop haute opinion de soi-même* (1), engage les auteurs de projets à ne pas s'adresser aux professionnels pour des questions d'ordre spécial. C'est là un tort qui serait pardonnable si, pour la mise à exécution des projets, on devait puiser dans sa propre bourse; ce procédé est injustifiable lorsque les deniers publics doivent être mis à contribution...

Si pour l'analyse chimique, pour l'examen bactérioscopique des eaux dont on propose la dérivation, on a soin de ne pas s'en rapporter à soi-même et si l'on a recours à des personnes spécialement compétentes, pourquoi ne pas en user de même pour déchiffrer les *problèmes géologiques* que soulève l'inspection des terrains fournissant ces mêmes eaux, surtout lorsqu'il s'agit de sources émergeant des *terrains fissurés, comme les calcaires devoniens et carbonifères, où la circulation des eaux s'établit d'une tout autre façon que dans les terrains perméables?*

Page 10, l'auteur, après avoir rappelé les travaux, en matière d'hydrologie des calcaires, des géologues Belgrand, Dupont et Daubrée, des ingénieurs spécialistes Otto Lueger (2) et Spataro, des explorateurs spéléologues Martel et Gaupillat, etc., « qui ont accumulé faits sur faits pour démontrer que les terrains compacts par nature, mais fissurés par accidents géologiques, ne comportent que des rigoles, des corridors d'écoulement et des nappes discontinues », ajoute qu'il « conviendrait d'apporter, à l'appui du système que l'on prétend y opposer, le résultat d'observations précises, nombreuses et indiscutables, et non de simples dénégations ».

M. Putzeys termine cette partie de son exposé (p. 12) par les deux paragraphes que voici :

Et quoiqu'il paraisse pénible à l'ingénieur chargé de l'étude des distributions d'eau de voir abandonner à d'autres une partie de sa tâche, l'intérêt public lui commande de s'en remettre, dans des cas spéciaux comme celui qui nous occupe, à l'avis des géologues, généralement plus compétents que lui pour apprécier ce qui se passe dans les entrailles de la terre.

Cela ne signifie nullement que nous ne devions pas avoir voix au chapitre, puisque nous aussi nous pouvons être bons observateurs; mais les mêmes raisons qui nous engageraient à ne pas nous incliner devant la compétence des géologues en matière d'établissement de prix de revient de l'eau par exemple, ou encore d'exploitation du service, doivent nous engager à nous effacer devant eux lorsque nous abordons des problèmes de leur compétence.

(1) Ces passages n'ont pas été soulignés par l'auteur; je me permets de le faire à sa place.

(2) De la belle étude technique, consacrée par M. *Otto Lueger,* dans son savant ouvrage : *Die Wasserversorgung der Städte* (Darmstadt, 1891), à l'hydrologie des calcaires, j'aurais encore pu extraire des citations destinées à montrer que cet éminent praticien est absolument d'accord avec les maîtres de la science en géologie pour apprécier, conformément aux vues de M. Putzeys, à celles de M. Rutot et aux miennes, le régime aquifère si spécial des terrains calcaires.

Digitized by Google

En s'exprimant ainsi, M. l'ingénieur Putzeys, qui, on le verra ultérieurement, a mis ses actes administratifs et techniques parfaitement d'accord avec ses paroles, s'est sans doute souvenu de l'exemple donné en 1889 par son prédécesseur à la direction des travaux de la ville de Bruxelles, M. l'ingénieur *Van Mierlo*, qui avait lui-même, en ce qui concerne le service des eaux, repris la succession de M. Th. Verstraeten à son départ en 1886. La Ville avait donc, dans le courant de 1889, par l'intermédiaire de son ingénieur M. Van Mierlo, demandé l'avis de la Société belge de géologie au sujet de deux projets d'extension de ses galeries drainantes; l'un d'eux était présenté par le service de la Ville et l'autre par M. le *capitaine* E. Verstraete, qu'il ne faut pas confondre avec l'*ingénieur* Th. Verstraeten.

Chargé avec M. Rutot de présenter à la Société un rapport, que celle-ci adopta et transmit à l'administration communale, nous démontrâmes aisément que le projet du capitaine E. Verstraete était dénué de toute base géologique sérieuse et devait être rejeté. Nous fîmes la critique raisonnée du projet de la Ville, qui se présentait dans des conditions géologiques défavorables, et nous préconisâmes chaudement l'établissement, avec raccordement au réseau primitif, créé par M. l'*ingénieur* Th. Verstraeten, d'un *nouveau réseau de galeries transversales développées*, que nous proposions d'orienter tout autrement que la galerie principale, soit, dans le but d'obtenir un débit considérable, dans un *sens perpendiculaire au lent mouvement général de translation de la nappe aquifère* (1). Nous montrions en même temps que cette grande galerie drainante, établie par M. Verstraeten dans une direction *parallèle* à la marche du grand déversement aquifère souterrain venant du S.-S.-E., semblait avoir été poussée bien loin dans cette direction, sans avoir utilisé d'énormes ressources aquifères, plus rapprochées et restées disponibles (2).

(1) E. Van den Broeck et A. Rutot, *Le projet de la Ville de Bruxelles pour l'extension des galeries de drainage destinées à l'alimentation de la Ville en eau potable.* (Bull. Soc. belge de Géol. de Paléont. et d'Hydrol., t. III, 1889, Procès-Verbaux, Séance du 9 octobre 1889, pp. 373-375.)

(2) Il convient d'ajouter, en toute équité, que le tracé d'une très importante branche de galerie dirigée dans ce sens, vers Notre-Dame-au-Bois, se trouve indiqué sur les *plans d'extension* dressés par M. Th. Verstraeten. Il eût mieux valu peut-être de pousser moins loin la galerie principale nord-sud et de réaliser l'exécution d'une sérieuse galerie transversale, plus avantageuse, semble-t-il, que les minimes bouts ou tronçons de galeries de l'espèce établis soit sous le Bois de la Cambre, soit à Boitsfort. Les tracés et dispositions de ces petits bouts de galeries ne paraissent guère témoigner de l'exécution voulue d'un plan d'ensemble, destiné à donner quelque extension à ces dispositifs, irréguliers et diversement orientés. Il semble plutôt que ce sont les difficultés, très réelles d'ailleurs, suscitées par les *sables boulants* du massif drainé, qui ont dû amener l'abandon successif de ces tentatives après de minimes longueurs d'exécution.

Digitized by Google

J'ai dit tantôt que M. l'ingénieur E. Putzeys, le successeur, au cours de cette même année 1889, de M. *Van Mierlo* dans la direction des travaux de la Ville, avait mis ses actes d'accord avec ses paroles, rapportées tantôt.

En effet, dès ses premières études sur l'extension du Service, M. Putzeys nous avait demandé, à M. Rutot et à moi, un nouveau *Rapport sur l'étude géologique et hydrologique de la région d'alimentation des galeries drainantes bruxelloises* (1).

Nous développâmes, après une étude géologique qui mit *à néant* les craintes qui avaient été exprimées de voir les galeries drainantes influer sur la végétation de la forêt, notre thèse, déjà exposée une première fois, en 1889, à la demande de M. Van Mierlo, de l'opportunité d'établir de nouvelles galeries *transversales*, perpendiculaires au mouvement de translation souterrain des eaux drainées, galeries que nous proposions de brancher à angle droit sur la grande galerie existante.

Peu après, dans son rapport de 1893, fait au Collège en sa qualité de chef du Service des eaux, rapport consacré à une étude de l'*Extension du Service des eaux de l'agglomération bruxelloise* (Bruxelles, grand in-8°, V° J. Baertsoen, 186 p., 46 planches et 8 croquis hors texte) et dont le manuscrit est daté de décembre 1892, M. Putzeys montra que les prévisions de rendement qu'avait naguère faites son prédécesseur M. Verstraeten, pourraient être considérablement dépassées par l'adoption de dispositifs complémentaires nouveaux.

C'est ici qu'interviennent, d'une part, les ingénieux serrements de retenue préconisés par M. l'ingénieur Putzeys, et, d'autre part, l'adjonction, proposée par nous dans nos rapports de 1889 et de 1892, des *galeries transversales* tracées perpendiculairement au grand sillon drainant exécuté par M. Verstraeten suivant la direction d'arrivée des eaux.

Les pages 15 et 21 à 27 de l'étude de M. l'ingénieur Putzeys mettent en pleine lumière les multiples éclaircissements qu'a apportés notre rapport géologique et hydrologique, rapport qui, dit-il page 15, « engagera sans doute le Gouvernement, propriétaire de la forêt de Soignes, à autoriser les changements de direction de galeries capables d'assurer les venues maxima ».

Il est assez curieux et suggestif de constater que tout en se défendant de vouloir, comme l'ont fait ses successeurs à la direction du Service des eaux de Bruxelles, admettre le concours *préalable* de la géologie dans les travaux de recherche et de captation d'eau, M. l'ingénieur Verstraeten a fait *exactement comme eux*, de même aussi que l'avaient fait ses *précurseurs* à lui. En effet, que lisons nous dans l'intéressant historique fourni par

(1) Ce rapport fut adressé par nous au Collège échevinal de Bruxelles sous la date du 15 avril 1892.

Digitized by Google

M. Verstraeten pour son étude sur *Les eaux anciennes et les eaux actuelles de Bruxelles* (1).

Après avoir parlé des anciennes eaux alimentaires et de la situation de 1800 à 1850, il relate qu'en 1850, sous l'administration du bourgmestre de Brouckère, la question d'une distribution d'eau fut sérieusement mise à l'ordre du jour, la vieille distribution de la source du Broubelaer ne pouvant plus suffire aux besoins rapidement croissants.

Une série de projets, dus à MM. Delaveleye, Le Hardy de Beaulieu, Carez et Delsaux, tous basés sur des dérivations de ruisseaux ou de sources de l'Entre-Senne-et-Dyle, en amont de Bruxelles, virent alors le jour. L'analyse chimique ayant reconnu de bonnes eaux potables dans cette région, et ces eaux, dit M. Verstraeten, ayant été acceptées comme telles par *toutes les autorités scientifiques* auxquelles *s'adressa la Ville,* on combina une utilisation plus complète des sources du Broubelaer, appartenant à la Ville, avec la dérivation des *sources du Hain,* qu'il fallut acquérir. Cette combinaison, agréée par le Conseil communal le 14 décembre 1852, fut mise à exécution par M. l'ingénieur Carez. En 1870, la Ville dut de nouveau chercher des eaux supplémentaires. (Voir l'exposé englobé dans le chapitre III de M. Verstraeten : Les eaux du Bois et de la Forêt.)

C'est alors qu'un projet émanant de son Service technique, dirigé à cette époque par M. l'ingénieur Verstraeten, fut soumis aux pouvoirs compétents, ainsi qu'à l'avis d'une *Commission scientifique.* Cette Commission, nous apprend M. Verstraeten, fut composée d'un des plus illustres géologues de l'époque : M. *d'Omalius d'Halloy,* d'un ingénieur, M. *Maus,* et d'un chimiste, M. *Depaire.* L'avis favorable donné par ces hommes de science triompha des « grandes colères et des sinistres prédictions » qu'avait fait naître le projet, fort bien conçu, de M. Verstraeten, familiarisé d'ailleurs avec la connaissance géologique de la région à sédiments meubles et à nappes régulières de la région qu'il se proposait de drainer. C'est grâce à cette adhésion des hommes de science, et notamment grâce à l'autorité qui s'attachait au nom de *d'Omalius,* que fut adopté le projet initial de M. Verstraeten, prélude de l'extension qui lui fut ultérieurement donnée, en 1876, sous la forêt de Soignes.

Il faut croire que M. Verstraeten a quelque peu perdu de vue les sentiments de gratitude qu'il dut éprouver naguère en faveur de la *géologie* et de son illustre représentant dans la *Commission scientifique,* sans l'approbation de laquelle il n'eût pu triompher de la vive opposition de l'opinion publique.

(1) *Ville de Bruxelles. Les eaux anciennes et les eaux actuelles de Bruxelles,* par TH. VERSTRAETEN, ingénieur, chef du Service des eaux. Bruxelles, Ve Baertsoen, 1884; brochure in-8o de 79 pages avec atlas in-plano.

Digitized by Google

Récapitulant le petit historique qui précède, on constate que dans chacune des étapes précédant, accompagnant et ayant suivi le passage de M. l'ingénieur Verstraeten à la Direction des travaux de drainage alimentaire de la ville de Bruxelles, l'élément scientifique, et spécialement *géologique*, a été soit consulté, soit mis à contribution pour avis préalable à la mise sur pied définitive et à l'exécution des projets.

Si les connaissances géologiques indiscutables de M. Verstraeten en matière de constitution du sol et du sous-sol de nos régions sableuses aquifères de l'Entre-Sambre-et-Dyle lui ont permis, en 1870, d'élaborer un projet approuvé par les représentants des sciences géologiques et autres, une étude plus détaillée, plus attentive encore, nous a permis, à M. Rutot et à moi, en 1889 et en 1892, de préconiser, parallèlement aux améliorations de dispositifs techniques (serrements) imaginées par M. l'ingénieur Putzeys, une disposition différente et avantageuse de galeries transversales greffées sur celles existantes.

Le rôle utilitaire de contrôle et de perfectionnement de la *Géologie* plane donc sur toute l'histoire des galeries alimentaires, dont la majeure partie est l'œuvre de mon honorable contradicteur, et c'est là une conclusion qu'il n'était pas mauvais de faire ressortir, au risque d'avoir dû ouvrir ici une assez longue parenthèse — que nous fermerons maintenant — au sujet des déclarations, reproduites ici p. 467, de M. l'ingénieur E. Putzeys, et dont les données rappelées ci-dessus fournissent la complète justification.

Dans le n° 18 du 15 avril 1896 (pp. 409-418) de la *Technologie sanitaire*, M. X. Stainier, membre de la Commission géologique de Belgique et professeur de géologie et d'hydrologie à l'Institut agricole de Gembloux, reproduit une de ses leçons sous le titre : *Allure des nappes aquifères au contact des terrains primaires*. Point n'est besoin de rappeler que M. Stainier ne partage en rien les vues de M. Verstraeten sur les « nappes » des calcaires, sur leurs allures et leurs caractères. Je me borne à reproduire le paragraphe final de cette étude, en en soulignant quelques passages, sans autre commentaire.

On voit donc, et c'est par cette remarque que nous terminons cette étude, que l'hydrologie est dans une étroite dépendance des *connaissances géologiques*. *Plus celles-ci seront avancées et parfaites et plus l'hydrologie reposera sur des bases sérieuses.* L'étude des nappes aquifères ne repose, en effet, que sur deux données : les lois hydrostatiques et la position et l'allure des contacts de roches perméables et imperméables. Pour en revenir aux trois points signalés dans ce travail, *seule la géologie* pourra nous faire connaître la pente et le sens de la pente des roches imperméables, le relief plus ou moins accusé de leur surface et la constitution lithologique du soubassement qu'elles forment.

Dans sa belle *Étude géologique du Tunnel du Rocio*, à Lisbonne,

Digitized by Google

M. *P. Choffat*, le savant géologue du Service portugais, arbitre incontesté, s'il en est, en matière d'applications géologiques, se plaint amèrement du peu de cas que font de la géologie les personnes mêmes qui ont à l'appliquer dans leurs recherches ou travaux. Dans deux paragraphes, dont je me borne à souligner quelques mots caractéristiques, il poursuit ainsi :

Nous ne demandons pas des études spéciales en géologie à tous les hommes qui ont à diriger des travaux sur le terrain; ce serait matériellement impossible; mais il est un ensemble de connaissances géologiques qu'ils devraient tous posséder. Dans bien des cas, il suffirait pour leur éviter bien des mécomptes; dans d'autres cas, il leur ferait comprendre la *nécessité de l'intervention d'un spécialiste.*

Chez l'ingénieur, cette lacune d'instruction provient précisément du parti pris que nous venons de signaler; ayant de nombreuses branches à étudier, il délaisse naturellement celles qui lui paraissent superflues.

L'auteur reconnaît ensuite que la faute en est souvent à l'enseignement mal compris de la Géologie, et il ajoute :

Quel que soit, du reste, le mode d'enseignement, on ne doit pas oublier que ce qu'on acquiert à l'école n'est pas la science en elle-même, mais seulement le moyen de l'obtenir, et qu'il faut encore un long apprentissage sur le terrain avant de *savoir observer et d'être capable d'une saine compréhension des faits.*

Dans sa *Géologie pratique* (1) que vient de publier (A. Colin, Paris), M. *L. De Launay*, professeur à l'École supérieure des mines, l'auteur dit, pages 2 et 3 de son chapitre Ier :

Le *but pratique de la géologie* est d'arriver à prévoir, d'après la seule observation des terrains superficiels et des tranchées naturelles sur une étendue plus ou moins grande et, presque toujours, sans aucune espèce de fouille ou d'excavation, la succession complète des couches que doit traverser un puits ou un sondage foré en un point quelconque et prolongé, autant qu'on le voudra, avec les nappes d'eau ou les gisements de substances minérales utiles qui peuvent y être intercalées.

... Il est à peine besoin de dire que sans géologie il est impossible de faire un travail de mine, d'exploiter rationnellement une carrière, de capter une source, d'établir un projet de tranchée ou de canal, etc. *Ceux là mêmes qui, pour certaines applications, croient se passer de la géologie, en se laissant guider par une pratique purement empirique, font, en réalité, de la géologie* (DE LA MAUVAISE GÉOLOGIE SOUVENT), comme M. Jourdain faisait de la prose sans le savoir.

Je me contente, pour tout commentaire, de souligner ici cette dernière phrase, des plus suggestives.

Dans son chapitre VI (p. 131), consacré aux applications de la géologie

(1) L. DE LAUNAY. *Géologie pratique et petit dictionnaire technique des termes géologiques les plus usuels.* — Engrais minéraux; sources; explorations minières; levés géologiques sommaires. Paris, Armand Colin, 1900. Un volume in-12 de 344 pages et 41 figures.

Digitized by Google

à la recherche et au captage des eaux, à l'irrigation, au drainage, à l'évacuation des eaux souillées et à l'hygiène publique, M. De Launay, après avoir (p. 134) montré combien l'excellent filtre constitué par les terrains sableux purifie convenablement, de même d'ailleurs que les grès et graviers, les eaux d'infiltration, fait remarquer

qu'il en est tout autrement dans la plupart des calcaires, dont les fissures ou diaclases constituent, en règle générale, des chenaux de circulation trop larges pour que la purification s'y fasse en aucune manière.

C'est donc une très grave erreur, ainsi que l'ont bien montré les explorations directes de M. Martel, de parler de niveaux d'eau dans les calcaires, alors qu'il peut y avoir un réseau hydrologique de ruisseaux souterrains plus ou moins larges, coulant par exemple sur une strate argileuse à la base, et cette erreur peut avoir des conséquences désastreuses si l'on en conclut à une purification certaine de ces eaux, qui peuvent parfaitement avoir traversé tout un massif calcaire et en sortir avec l'apparence de larges sources bien limpides, tout en restant exposées à la contamination superficielle.

Or les multiples expériences du passé et de tous les jours encore permettent, en Belgique comme à l'étranger, de constater que c'est *invariablement* l'ingénieur et nullement le géologue qui s'*illusionne* ainsi sur les qualités hygiéniques des eaux prônées ou du moins sur les *garanties de permanence* de celles constatées en pareil cas. Ce qui précède constitue donc, de même que l'extrait précédent, un plaidoyer irréfutable en faveur du rôle critique prépondérant du *géologue* en matière d'appréciation des eaux sortant des terrains calcaires.

Dans son excellent petit manuel : *Recherches des eaux potables et industrielles,* de l'encyclopédie des aides-mémoire Léauté (section de l'ingénieur) M. *H. Boursault,* chimiste à la Compagnie du Chemin de fer du Nord, et qui comme tel ne doit guère songer à défendre systématiquement l'importance du rôle du géologue et de la géologie, consacre la *Partie pratique* (p. 147) de son livre à l'exposé du mode opératoire. Après avoir exposé quelques généralités sur le but à atteindre et sur le champ des recherches, il aborde immédiatement les études géologique et hydrologique, et il dit (p. 149) :

Quelle que soit l'importance de la question traitée, il est de toute nécessité d'étendre l'étude bien au delà des lieux compris dans le périmètre des recherches.

Cette étude doit comprendre, avant tout, la géologie locale; on s'attache à connaître non seulement la nature des terrains intéressés, mais surtout l'allure des couches et leur puissance; la structure et la composition minéralogique des roches, pour en déduire des données sur la perméabilité et sur la qualité des eaux qui circulent à leur contact. L'examen doit s'étendre à tout le parcours qu'on veut utiliser; on le suit avec soin dans les terrains traversés, depuis le lieu de pénétration jusqu'aux points d'émergence.

L'auteur entre même dans le détail de l'étude géologique, qu'il

Digitized by Google

préconise comme *base préalable;* il dit qu'il faut s'attacher même aux constatations et déterminations paléontologiques, aux modifications d'aspect et de caractères que présentent les dépôts, suivant qu'ils sont intacts ou altérés (oxydés ou décalcifiés). Il attire aussi l'attention sur les changements d'aspect qui, en profondeur, rendent parfois les roches méconnaissables si on ne les caractérise que par leur aspect d'affleurement.

Quel est, en Belgique surtout, l'ingénieur hydrologue qui se croirait à même de résoudre ces multiples problèmes que présente parfois l'étude des projets de drainage souterrain!

L'étude géologique *terminée,* il faut *s'en servir* pour *dresser des coupes hydrologiques...* Quand l'*étude préalable est terminée,* il devient nécessaire de la compléter et surtout de la préciser par une enquête minutieuse sur place. Elle doit porter avant tout sur l'examen des divers terrains au point de vue du facies local et de la stratigraphie.

L'auteur poursuit ensuite, mais c'est plutôt le rôle de l'ingénieur qu'il a alors en vue, et il montre toutes les difficultés qui l'attendent dans ce laborieux sujet de l'élaboration d'un projet de recherche de captage et d'adduction d'eaux potables.

Il doit être entendu que l'*ingénieur des mines,* qui, en France surtout, est souvent géologue professionnel ou enseignant, est à même, bien plus que l'*hydrologue* ou l'ingénieur n'ayant pas eu à s'occuper spécialement de géologie, de traiter ces questions avec une compétence suffisante pour le faire dans de bonnes conditions.

Voici, toutefois, ce que dit un éminent ingénieur des mines de Paris, M. *Léon Janet,* spécialiste en matière d'hydrologie des calcaires crayeux et qui commence en ces termes la *Conférence de géologie appliquée sur le captage et la protection des sources d'eaux potables,* qu'il a donnée le 11 juin 1900 à la Société géologique de France (1) :

Il est peu de questions où la géologie joue un rôle plus essentiel que dans le captage et la protection des sources d'eaux potables. Ce rôle a, il est vrai, été longtemps méconnu, mais aujourd'hui, en raison de l'importance de plus en plus grande que l'on attache à toutes les questions d'hygiène, on commence à reconnaître qu'il est indispensable de prendre l'avis d'un géologue toutes les fois qu'il s'agit d'utiliser une eau pour l'alimentation d'une agglomération humaine. Tout récemment, une commission, composée de représentants des Ministères de la Guerre, de l'Instruction publique, de l'Agriculture et des Travaux publics et de l'Intérieur, et comprenant deux de nos plus éminents confrères : M. Michel Levy, membre de l'Institut, directeur du Service de la Carte géologique de France, et M. Munier-Chalmas, professeur à la Faculté des sciences de Paris, a proposé de consulter toujours un collaborateur du Service de la

(1) Léon Janet, *Conférence de géologie appliquée sur le captage et la protection des sources d'eaux potables.* (Bull. de la Soc. géol. de France, 3e série, t. XXVIII, n° 5, pp. 532-548.) Voir aussi l'intéressante discussion qui a suivi cet exposé; pp. 54-55.

Digitized by Google

Carte géologique avant de commencer l'instruction des projets de captage et d'adduction d'eau.

L'auteur, après avoir rappelé la nécessité du concours du chimiste, du micrographe et du médecin, ajoute : « mais C'EST L'EXAMEN GÉOLOGIQUE QUI DEVRA VENIR EN PREMIÈRE LIGNE ».

Passons maintenant au récent rapport officiel dont parle M. Janet et présenté à M. le Président du Conseil, Ministre de l'Intérieur et des Cultes, par M. *Henri Monod*, conseiller d'État, membre de l'Académie de médecine, directeur de l'Assistance et de l'Hygiène publiques.

Dans le chapitre de ce rapport consacré aux *Dispositions scientifiques et administratives à prendre pour l'examen des projets d'adduction d'eau potable*, le rapporteur signale que :

Le premier résultat, assez inattendu, de notre étude, fut de montrer que les garanties actuellement données à la protection de la santé publique dans l'instruction des affaires d'adduction d'eau sont insuffisantes et doivent être étendues.

M. Jules Legrand avait fort bien indiqué, au Sénat, les trois éléments qui composent en cette matière une instruction complète :

« D'après les plus récents travaux scientifiques, disait-il, il est » établi que l'analyse chimique ne suffit plus. Il faut y joindre l'analyse » microbiologique et en outre utiliser les données fournies par la » géologie sur la nature des terrains traversés par les eaux. »

Ce troisième élément, reprend le rapporteur, les *données géologiques*, a été jusqu'ici, non pas omis, mais un peu négligé, relégué au troisième plan. *Il a paru à votre Commission qu'il devait passer au premier.*

L'examen géologique doit, en effet, *précéder* l'analyse, car celle-ci est inutile si celui-là est défavorable. A quoi sert l'assurance qu'une eau est excellente au point de vue chimique, qu'on n'y trouve aucun microbe pathogène, *si cette eau est captée dans des terrains tels que* SA COMPOSITION EST SUJETTE A D'INÉVITABLES VARIATIONS? Et *bonne* aujourd'hui, elle peut être *mauvaise* demain, si à certains endroits de son parcours, ou sous l'influence de certaines circonstances, par exemple à la suite de grandes pluies, elle est exposée à recevoir des infiltrations de marécages, de bourbiers, de mares ou d'autres milieux infectés?

La Commission a donc émis l'opinion que l'examen GÉOLOGIQUE *doit être placé au* SEUIL *de toute l'instruction* (1).

Par qui cet examen doit-il être fait?

(1) Je me suis permis, en rapportant ici ce texte, d'en souligner quelques passages particulièrement intéressants pour la thèse défendue dans le présent exposé. (E. V. d. B.)

Digitized by Google

Le rapporteur, répondant ensuite à cette question, montre que cette étude doit être faite *sur place* et non simplement d'après des cartes.

Sur la proposition de M. *Michel Lévy*, directeur du Service de la Carte géologique de France, la Commission a adopté avec empressement l'idée « de confier ce travail PRÉLIMINAIRE aux collaborateurs du Service géologique » qui, en France, sont actuellement au nombre de soixante-cinq, et le rapporteur ajoute (p. 6 de la brochure officielle) que « si l'étude géologique du terrain ne donnait pas des résultats nettement défavorables à l'eau proposée, l'instruction serait *poursuivie* par l'analyse chimique et l'analyse bactériologique ».

Il serait intéressant de savoir ce que pense M. l'ingénieur Verstraeten de tout ceci et s'il se propose de traiter le groupe des hautes autorités techniques, médicales, scientifiques et administratives, dont se compose la Commission officielle française (1), avec la même désinvolture que celle qu'il a montrée envers ses collègues Rutot et Van den Broeck, et envers ce dernier spécialement quand il exposait, en 1890 (voir pp. 458 et 460), son projet de *marche rationnelle* d'étude d'un projet de drainage qui est absolument conforme à la thèse défendue par la Commission française de 1900!

Il restera à mon contradicteur la ressource de traiter celle-ci de plagiaire et de dire, que puisqu'elle répète *aujourd'hui* ce que j'ai énoncé *il y a dix ans*, elle doit avoir tort, tout aussi bien que moi, et que *lui seul*, M. Verstraeten, à raison *contre tous!*

Eh bien! voici tranché, par l'arbitrage le plus autorisé qu'on puisse réclamer, le différend qui oppose M. l'ingénieur Verstraeten à nous ainsi qu'à ses confrères les plus distingués, aux géologues les plus éminents, à la Commission gouvernementale française et à la thèse que, avant tous ceux cités au cours de mon travail et ici rappelés, j'ai exposée depuis 1890.

Il s'agit du **Gouvernement français** qui, ayant à défendre les intérêts

(1) Cette Commission se composait de : MM. *Jules Legrand*, député, président; *Brouardel*, membre de l'Institut, doyen de la Faculté de médecine de Paris, président du Comité consultatif d'hygiène publique de France; *Mastier*, conseiller d'État, directeur de l'Administration départementale et communale; *Henri Monod*, conseiller d'État, membre de l'Académie de médecine, directeur de l'Assistance et de l'Hygiène publiques; Dr *Pouchet*, professeur à la Faculté de médecine, membre du Comité consultatif d'hygiène publique de France; *Liard*, directeur de l'enseignement supérieur au Ministère de l'Instruction publique; *Munier-Chalmas*, professeur de géologie à la Faculté des sciences de Paris; Dr *Vaillard*, médecin principal de 1re classe, professeur au Val-de-Grâce; Dr *Descour*, médecin major de 1re classe, attaché à la 7e direction du Ministère de la Guerre; *Michel Lévy*, membre de l'Institut, ingénieur en chef des mines, directeur du Service de la Carte géologique de France; *Babinet*, ingénieur en chef des ponts et chaussées; *Genty*, inspecteur de l'hydraulique agricole; *Philippe*, directeur de l'hydraulique agricole au Ministère de l'Agriculture, et Dr *Faivre*, secrétaire.

Digitized by Google

de l'hygiène et de la santé des trente-huit à trente-neuf millions d'habitants de ses trente-six mille communes, a décidé qu'il y avait lieu d'approuver et d'adopter les conclusions de la Commission gouvernementale et qui vient, par une *circulaire adressée aux Préfets des 86 départements* au nom du MINISTRE DE L'INTÉRIEUR, de régler officiellement la *marche de l'instruction des projets d'alimentation en eaux présentés par les communes.*

C'est la complète et absolue réalisation, ainsi rendue officielle et bientôt obligatoire pour toute la France (1), de MON PROGRAMME DE 1890, qui sera d'ailleurs reproduit, comme annexe finale de *comparaison*, à la suite du texte de la circulaire gouvernementale qui a, comme lui, pour but d'établir *le rôle initial de l'étude géologique* faite par un spécialiste dans l'élaboration des projets de recherche et d'adduction d'eaux alimentaires.

Voici le texte de la circulaire ministérielle :

Paris, le 10 décembre 1900.

LE PRÉSIDENT DU CONSEIL,
MINISTRE DE L'INTÉRIEUR ET DES CULTES :

A Monsieur le Préfet d.....

« Une circulaire d'un de mes prédécesseurs, du 23 juillet 1892, a tracé les règles à suivre pour l'instruction des projets d'alimentation en eau présentés par les communes.

» Depuis lors, à la suite d'observations qui ont été échangées devant le Sénat, le 30 mars 1899, mon administration s'est préoccupée de rechercher quelles mesures peuvent être prises pour abréger les délais dans l'instruction des projets de captage et d'amenée des eaux destinées à l'alimentation publique.

» Une commission a été constituée à cet effet et elle a proposé des résolutions auxquelles j'ai donné mon assentiment.

» L'instruction des affaires de cette nature se présente sous un double aspect : le point de vue scientifique et le point de vue administratif.

» Une eau ne pouvant être utilisée pour l'alimentation qu'autant qu'elle a été reconnue salubre, la détermination de la salubrité de l'eau doit précéder l'examen de toutes les autres questions. Or, il résulte des travaux scientifiques les plus récents que, pour apprécier cette salu-

(1) Il reste encore à faire voter par les deux Chambres le *projet de loi*, qui vient d'être remanié et remis au point par la Commission spéciale, comme complément de ses travaux.

Digitized by Google

brité, l'analyse chimique ne suffit pas. Il faut y joindre l'analyse microbiologique et, en outre, utiliser les données fournies par la géologie sur la nature des terrains traversés par les eaux. L'examen géologique doit lui-même *précéder* l'analyse, car celle-ci est inutile si celui-là est défavorable; *on ne peut, en effet, utiliser une eau, si pure qu'elle soit à l'analyse, si elle demeure sujette à des causes de contamination* (1). Cette

(1) Je me suis permis de souligner ici cette phrase de la *circulaire ministérielle* parce que, de même que tout le paragraphe qui précède, elle permet de ne pas attacher trop d'importance à une malheureuse annexe des documents fournis par la Commission et parce qu'elle permet d'éviter d'entreprendre la très vive critique, d'ordre à la fois scientifique et hygiénique, que pourrait provoquer à bon droit cette œuvre *toute personnelle* d'un des membres ingénieurs de la Commission. Publiée malheureusement en ANNEXE du rapport de celle-ci, elle se trouve par conséquent fâcheusement présentée sous la responsabilité morale de la dite Commission.

Je considère comme un véritable devoir de m'expliquer sur ce sujet, dont il serait inutile de chercher à dissimuler la gravité.

Si, en ce qui concerne le but en vue, toutes les personnes au courant des desiderata que comporte l'étude rationnelle des projets de drainage d'eaux alimentaires se trouvent certainement d'accord pour féliciter la Commission spéciale française de son initiative éclairée, tendant à rendre hommage à l'importance des études géologiques préalables, au point de les avoir fait rendre obligatoires, il y a cependant de sérieuses réserves à faire lorsqu'on examine certain exposé faisant officiellement partie des documents publiés au nom de la Commission française. Je veux parler de l'étonnant *Rapport sur la défense des sources dites « vauclusiennes »* présenté par M. *Babinet*, ingénieur en chef des ponts et chaussées, rapport adjoint, au nom de la Commission, comme *troisième annexe* à son travail d'ensemble. Il suffit, pour caractériser ce qu'il faut penser de ce rapport, de citer sa phrase de début et de la mettre en regard des conclusions de l'auteur. « Une source peut être dite *vauclusienne*, dit M. l'ingénieur Babinet, lorsqu'elle est alimentée par des écoulements superficiels, même assez éloignés, à travers des terrains dont les fissures sont trop larges pour en assurer l'épuration dans des conditions satisfaisantes. » Or l'auteur, après de telles prémisses, conclut ainsi : « *On ne peut songer d'interdire absolument l'emploi des eaux vauclusiennes, car les sources les plus abondantes, indispensables pour alimenter les grandes agglomérations d'hommes, leur doivent souvent une partie de leur fort débit.* Dans les terrains calcaires, c'est le cas général. »

L'auteur a beau, après ceci, recommander deux palliatifs, efficaces dit-il, lorsque la communication d'une source avec la surface du sol *est bien prouvée;* il s'est condamné lui-même à fournir la démonstration qu'il n'a aucune conscience de sa responsabilité ni de la gravité de l'affreuse thèse défendue par lui en matière d'hygiène et de santé publique.

Cette « *défense des sources vauclusiennes* » énoncée dans la patrie des *Martel*, des *Gaupillat* et de leurs disciples en spéléologie, est si navrante, par son adjonction aux utiles et savants travaux de la Commission française, qu'on est en droit de douter que celle-ci ait réellement pu être appelée à *discuter* la thèse et les termes de cette ANNEXE. Quant à moi, je préfère admettre qu'elle n'aura pas même eu l'occasion d'en prendre connaissance au cours de ses délibérations et de ses discussions scientifiques. Grâce, d'une part, à la déclaration ministérielle ci-dessus soulignée, d'autre part, aux résultats

Digitized by Google

étude préliminaire sera confiée aux collaborateurs du Service de la Carte géologique de France. A cet effet, il sera dressé un tableau des géologues affectés aux différentes régions. Je vous ferai parvenir un exemplaire de ce tableau.

» Si l'état géologique du terrain ne donne pas des résultats nettement défavorables à l'eau proposée, l'instruction sera poursuivie par l'analyse chimique et l'analyse bactériologique.

» Le Comité consultatif d'hygiène publique de France, dans l'examen des projets d'amenée d'eau qui lui ont été soumis jusqu'à ce jour, a eu trop souvent à constater l'insuffisance, et parfois l'inexactitude manifeste, des analyses jointes aux dossiers de ces projets. On ne saurait ici s'entourer de trop de précautions, et vous apporterez un soin extrême au choix de l'analyste que vous chargerez, à la suite de l'avis du géologue, de procéder aux analyses de l'eau. »

. . . . . .

La circulaire s'occupe, ensuite, de la question du paiement des indemnités, conséquence obligée des examens géologique, bactérioscopique et chimique, paiement qui doit être à charge des communes, mais qui représente une dépense minime. On a calculé, dit la circulaire, qu'en moyenne les indemnités dues au géologue et à l'analyste ne dépasseront pas ensemble 150 francs. En faisant connaître aux préfets leur intention de faire étudier un projet de distribution d'eau, les communes s'astreindront à joindre, à leur demande d'autorisation, une délibération par laquelle elles s'engagent à supporter les frais d'étude scientifique préalable.

La circulaire signale ensuite que pour les villes de plus de 5,000 habitants, la salubrité de l'eau ayant été reconnue par cette étude, l'autorisation nécessaire à l'exécution des travaux doit émaner du Ministre de l'Intérieur sur avis favorable du Comité consultatif d'hygiène publique de France. La circulaire montre l'avantage de cette mesure spéciale et de ces garanties, prises en faveur de tels centres de population, qui sont, en France, au nombre de 584.

Quant aux 35,586 autres communes de France, en cas d'avis favorable du géologue, du chimiste et du Conseil départemental d'hygiène, le Conseil d'hygiène d'arrondissement préalablement consulté, c'est au préfet qu'elles devront s'adresser pour obtenir l'autorisation nécessaire avant d'effectuer les travaux.

. . . . . .

que l'on est en droit d'attendre de l'intervention attentive de *géologues compétents* dans l'instruction des projets de drainage alimentaire, on peut espérer que l'autorité supérieure, éclairée sur la valeur des sources « vauclusiennes », interprétera l'idée de leur « DÉFENSE » tout autrement que la malencontreuse annexe de M. l'ingénieur Babinet !

Digitized by Google

« En résumé, Monsieur le Préfet, les diverses parties de l'instruction d'une affaire d'adduction se poursuivront dans l'ordre que voici :

» Lorsqu'une commune voudra s'assurer le bienfait d'une amenée d'eau potable, elle vous en avisera en s'engageant à payer les indemnités de vacation au géologue et à l'analyste;

» Vous chargerez le géologue désigné, comme il a été dit ci-dessus, de visiter les lieux et de vous adresser un rapport sur les conditions de pureté de l'eau et sur ses chances de contamination;

» Si le rapport du géologue est défavorable, vous le communiquerez à la commune;

» Si le rapport est favorable, vous chargerez l'analyste choisi par vous de procéder à l'analyse de l'eau;

» Celui-ci s'entendra avec le maire pour le prélèvement des échantillons, puis vous adressera les résultats de l'analyse chimique et bactériologique de l'eau;

» Lorsque le géologue aura constaté que le terrain est favorable, et qu'ensuite l'analyste aura constaté que l'eau est mauvaise, il est désirable que les deux praticiens se concertent pour rechercher si la mauvaise qualité de l'eau ne tiendrait pas à des causes accidentelles qu'il serait facile de supprimer.

» Vous enverrez l'avis du géologue et celui de l'analyste au maire de la commune en l'engageant, s'il y a lieu, à faire dresser un projet complet.

» La commune fera dresser ce plan par qui elle l'entendra et l'enverra au sous-préfet, lequel provoquera l'avis du Conseil d'hygiène de l'arrondissement et vous enverra le dossier avec la délibération de ce Conseil.

» Si la commune intéressée a plus de 5,000 habitants, ou si l'avis, soit du géologue, soit de l'analyste, est défavorable au projet et que cependant la commune y persiste, vous m'adresserez le dossier pour être soumis au Comité consultatif d'hygiène publique de France, sur l'avis duquel je statuerai.

» Si la commune a moins de 5,000 habitants et si les avis du géologue et de l'analyste sont favorables, vous statuerez après avis du Conseil départemental d'hygiène. Néanmoins, si la délibération du Conseil départemental d'hygiène est favorable à l'exécution et qu'un tiers des membres qui composent ce conseil demandent que l'affaire soit soumise au Ministre de l'Intérieur, vous me transmettrez le dossier pour être soumis au Comité consultatif d'hygiène publique de France. »

. . . . . .

Digitized by Google

La circulaire prévoit encore qu'aux cas de travaux de canalisation d'une certaine importance, d'édification d'ouvrages d'art ou de modifications devant être apportées, par les travaux en vue, au régime des eaux des vallées intéressées ou, enfin, s'il y a à tenir compte de l'organisation de dispositifs d'eau d'arrosage ou d'irrigation, le dossier devra être soumis à diverses autorités et administrations : Conseil général des ponts et chaussées, Administration de l'agriculture, Conseil d'État, etc. La circulaire règle la marche des dossiers en vue de ces diverses éventualités et, pour des renseignements plus précis, renvoie les préfets notamment pour l'étude des questions de simplification, de transmission et d'étude, au rapport — annexé à la circulaire — de la Commission qui a établi les bases de la nouvelle procédure.

La circulaire attire ensuite l'attention des préfets sur le rôle important qui va échoir au Conseil départemental d'hygiène, qui n'aura pas seulement à apprécier les avis donnés par les géologues et les analystes, mais aura aussi à s'occuper du mode de captage et de préservation des eaux et à rechercher si les besoins de la population en eau potable paraissent pouvoir correspondre aux quantités d'eau produites par les travaux projetés.

. . . . . .

« On a trop souvent reproché aux conseils d'hygiène de manquer d'initiative et d'activité. Pourtant ces assemblées sont habituellement composées d'hommes intelligents, instruits, dévoués au bien public. Il vous serait possible d'ailleurs, si vous le jugiez utile, de leur adjoindre de nouveaux éléments. L'article 4 du décret du 18 décembre 1848 permet au Ministre de l'Intérieur de le faire. Il conviendrait, autant que les résidences le permettront, de comprendre dans le Conseil départemental un géologue correspondant du Service de la Carte et un analyste compétent. Cette adjonction tendrait à établir l'harmonie entre les différentes parties du service sanitaire.

» Le régime nouveau, institué par la présente circulaire, donnera une utile impulsion aux conseils départementaux d'hygiène. Je ne doute pas, en effet, que ceux-ci ne mettent leur honneur à exercer avec clairvoyance et prudence les attributions nouvelles qui leur sont confiées et qui intéressent tellement la sauvegarde de la santé publique. »

Le Président du Conseil,
Ministre de l'Intérieur et des Cultes,

WALDECK-ROUSSEAU

Digitized by Google

Je livre, enfin, aux méditations de M. l'ingénieur Verstraeten, la comparaison du texte officiel et gouvernemental qui précède avec celui de mon exposé du 15 juillet 1890 (1), indiquant la manière dont je comprenais, dès cette époque, la *marche rationnelle* de l'ÉLABORATION D'UN PROJET DE DRAINAGE OU DE CAPTATION D'EAUX ALIMENTAIRES.

Les réflexions que feront faire à mon honorable contradicteur la comparaison de ces deux textes me consoleront largement de la virulence des attaques dont a été l'objet l'exposé, reproduit ci-dessous, de ce que j'appelais la *marche rationnelle* de ces études, laquelle actuellement me paraît avoir une allure beaucoup plus *triomphale* que la « *vieille marche* » préconisée par mon honorable contradicteur.

RAPPEL DU PROGRAMME D'ÉTUDE

DES PROJETS DE DRAINAGE OU DE CAPTATION D'EAUX ALIMENTAIRES

PRÉSENTÉ A LA SEANCE DU 15 JUILLET 1890

DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

par E. VAN DEN BROECK

« L'étude d'un projet de drainage ou de captation d'eau comprend des points de vue très divers. La marche rationnelle consiste à s'adresser d'abord à la *géologie,* qui détermine la structure et les relations générales des couches, ainsi que leurs relations avec les nappes ou ressources aquifères qu'elles contiennent, qui permet de dresser des coupes rationnelles des terrains, de déterminer leurs conditions de perméabilité ou d'imperméabilité, ainsi que les difficultés qu'elles offriront aux travaux de mine, de fouille, de construction, etc. Vient ensuite l'*hydrologie,* qui procure le nivellement, le fractionnement des nappes, les quantités d'eau disponibles, le débit moyen avec les minima. La *chimie* et la *bactériologie* doivent intervenir ensuite pour déterminer la composition des eaux et les variations qu'elles peuvent présenter périodiquement, leur nocivité ou leur innocuité au point de vue hygiénique. »

« C'est seulement lorsque ces éléments sont acquis que l'*ingénieur* devrait entrer en ligne pour rechercher les conditions d'établissement les plus favorables et les mieux appropriées aux données géologiques et hydrologiques. Son projet, établi alors sur des bases sûres, peut être livré ensuite aux *financiers,* aux *autorités compétentes* et aux conseils *juridiques*, dont le rôle est tout indiqué. »

(1) *Loc. cit.* (Voir note 1 de la page 440.)

Digitized by Google

NOTE ADDITIONNELLE N° 1 (1).

Les ressources aquifères des terrains quartzo-schisteux par opposition à celles des calcaires.

Dans son exposé contradictoire en ce qui concerne les ressources des terrains rocheux non calcaires, M. l'ingénieur Verstraeten, rencontrant ce qu'a dit à ce sujet M. Éd. Dupont, avait certainement le droit strict de prendre à la lettre, pour les combattre, les expressions dont s'est servi l'honorable Directeur du Musée d'histoire naturelle de Belgique.

Dans son étude sur *les phénomènes généraux des cavernes en terrains calcaires* et sur *la circulation souterraine des eaux dans la région de Han-Rochefort* (2), M. Éd. Dupont a surtout voulu mettre en opposition ce qui se passe dans *les calcaires* avec ce qui est la règle générale dans nos terrains anciens, ou primaires, *non calcaires*.

Pour désigner ceux-ci, il a, dans son exposé relatif à la région de Han-Rochefort, employé, d'une façon générale et synthétique, l'expression *schistes*, alors qu'il visait non moins, et même plus, les *quartzo-schisteux*, c'est-à-dire les GRÈS et les PSAMMITES.

C'est tellement vrai que la légende de la petite carte géologique dont s'accompagne son travail fournit les trois termes suivants pour désigner les terrains étudiés par lui : *calcaires et schistes frasniens, calcaires givetiens* (c'est surtout dans ceux-ci que se localisent la presque totalité des phénomènes exposés) et SCHISTES ET PSAMMITES COUVINIENS, disposés au contact des précédents.

En cherchant à renverser l'argumentation de M. Dupont, qui avait surtout en vue les ressources aquifères que l'on peut demander, non précisément aux seuls schistes, mais surtout aux *quartzo-schisteux :* grès et psammites, M. Verstraeten a profité assez habilement, dans sa critique, d'un défaut de forme, peut-être voulu cependant par M. Dupont, pour donner plus de force à ses conclusions si nettes relatives à l'hydrologie des calcaires.

Si à cela M. Verstraeten répondait que, dans l'exposé hydrologique précité, M. Dupont, tout en se basant sur ce qu'il a vu dans la région de Han-Rochefort, a émis *une thèse générale* applicable à l'ensemble de nos terrains primaires, je n'hésiterais pas à accepter cette interprétation si large ; mais alors je l'accepte avec tous les éléments d'appréciation qu'elle comporte et que voici :

Si M. Verstraeten s'était donné la peine de parcourir les chapitres

(1) Voir la note 2 de la page 406.
(2) *Loc. cit.*, voir page 435, note 1.

Digitized by Google

d'*hydrologie souterraine* des divers *mémoires explicatifs* consacrés par M. Éd. Dupont aux nombreuses planchettes primaires dont il a, de 1878 à 1885, effectué le levé géologique détaillé, et s'il avait examiné les cartes elles-mêmes, ainsi que les coupes qui les accompagnent, il aurait pu s'assurer : 1° que, faisant opposition aux bandes *calcaires* étudiées et levées par M. Dupont dans le bassin de Dinant, et les séparant les unes des autres, ce sont pour ainsi dire *exclusivement* les PSAMMITES et les GRÈS du Condroz, et nullement les SCHISTES de la Famenne, qui alternent avec lesdits bassins ou plis calcaires qu'ils enserrent.

2° Que toutes les observations faites par M. Dupont sur l'hydrologie et sur le régime aquifère des terrains primaires non calcaires dont il s'est occupé ont porté pour ainsi dire *constamment* sur le *quartzo-schisteux* famennien et seulement à titre très exceptionnel sur le *schiste* famennien, dont l'étude et l'exposé des propriétés étaient d'ailleurs, dans ces mêmes travaux de levé géologique, confiés à M. Mourlon.

3° De ce qui précède, il résulte aussi que les conseils fournis par M. Dupont aux cultivateurs de donner plus de profondeur à leurs puits, et d'y adjoindre éventuellement des bouts de galeries drainantes, sont absolument justifiés dans le *quartzo-schisteux*, qu'il avait spécialement en vue.

En conséquence, la discussion ouverte par M. Verstraeten au sujet de ces conseils est essentiellement une *querelle de mots* plutôt qu'une critique à bases scientifiques, tenant compte de la réalité des faits.

Comme élément de documentation à l'appui de ce qui précède, je reproduis ci-après, en entier et en soulignant quelques passages, le court chapitre consacré par M. Dupont à l'*hydrographie*, pages 53-54, dans son *Explication de la feuille de Clavier* (Bruxelles 1883).

HYDROGRAPHIE. — Nous avons déjà observé combien les cours d'eau sont de peu d'importance sur la feuille de Clavier. On ne peut guère y citer que le ruisseau d'Ombre et ses affluents.

Situation des villages (1). — On remarquera que trois villages ou hameaux sont établis sur ces cours d'eau : Ocquier, Chardeneux et Amas. Sauf Terwagne, qui est situé aux bords de la Chavée-de-Bonne, tous les autres, au nombre de douze, sont bâtis sur les plateaux. Onze d'entre eux le sont sur le terrain *quartzo-schisteux*, c'est-à dire sur les *psammites devoniens* et sur le terrain houiller, mais sur les bords de leurs massifs, de manière à être rapprochés des surfaces calcaires que recouvrent les meilleures terres à cultiver. Or, ces terrains *quartzo-schisteux*, étant souvent fortement en proéminence, sont d'un accès très difficile pour les charriages, et l'on peut se demander les raisons qui ont déterminé le choix de ces emplacements.

Puits dans les terrains quartzo-schisteux. — Je suis porté à croire que l'impossibilité de se procurer l'eau par des puits dans le calcaire en a été le motif déterminant. Lorsque l'on creuse des puits dans les *psammites devoniens* ou dans le terrain houiller, *on obtient au contraire de l'eau à peu de profondeur.*

(1) Ces sous-titres des paragraphes se trouvent, dans les textes des cartes géologiques de l'ancien service, indiqués *en marge* et faisant l'office de sommaire.

Digitized by Google

Cette distribution des villages reste constante dans le Condroz. — Il est exceptionnel qu'il en existe ailleurs que sur les cours d'eau, ou à la limite du calcaire et du terrain *quartzo-schisteux*, quand leurs bandes alternatives n'ont pas trop de largeur.

La thèse de M. Dupont se trouve ici fort nettement exposée, et elle est bien différente de l'interprétation que lui a attribuée M. Verstraeten. Elle peut se résumer comme suit, lorsqu'on complète ce qui précède par ce qu'a dit M. Dupont dans son étude sur Han-Rochefort :

Vu l'absence, l'aléa, ou vu seulement la grande profondeur des ressources aquifères du calcaire, il est trop coûteux pour des populations agricoles de chercher à y creuser des puits (1). Dans les roches non calcaires, et spécialement dans les grès et dans les psammites du *quartzo-schisteux*, il existe, à une faible profondeur, des eaux d'infiltration dont les ruraux ne profitent généralement pas assez. En approfondissant leur puits et même en y adjoignant éventuellement quelques bouts de galeries drainantes, ils pourraient souvent arriver à augmenter ces ressources et à les rendre plus constantes.

Il est intéressant et quelque peu suggestif, après cette mise au point de la thèse de M. Dupont, de relire, soit ce qu'en a dit M. Verstraeten (voir pp. 99-100 de son exposé dans notre *Bulletin*), soit les extraits reproduits pages 406-407 du présent travail.

Partant de ce fait, maintenant établi, que M. Dupont, en donnant ses conseils d'utiliser plus largement les ressources aquifères des terrains non calcaires, avait bien en vue le *quartzo-schisteux*, on peut encore aisément fournir à M. Verstraeten la preuve que des galeries filtrantes établies dans le *quartzo-schisteux*, c'est-à-dire dans des alternances de schistes, de grès et de psammites, peuvent débiter des volumes d'eau dépassant de beaucoup le besoin des populations rurales, c'est-à-dire des fermes et même des villages. Il me suffira pour cela de lui signaler le passage suivant de l'étude consacrée en 1898 par M. le professeur *Gosselet* à l'alimentation en eau des villes et des industries du nord de la France (2).

La ville de Jeumont est pour le moment la seule du département du Nord où l'alimentation en eau soit assurée par une galerie. Au sud de Jeumont se trouve un plateau de schiste et de grès devonien en couches fortement inclinées. La pluie qui tombe sur le plateau filtre à travers le limon. Elle pénètre dans les joints des couches, particulièrement à la séparation des grès et des schistes. Elle descend jusqu'à ce que la compacité de la roche soit assez grande pour boucher complètement toutes les fissures. Il y a donc sous le plateau une nappe aquifère irrégulière en profondeur et en activité.

(1) D'après M. Gosselet, ce même cas se présente dans certaines régions de la France; mais des communes voisines ont pu obvier à cet inconvénient en s'unissant pour faire creuser, à frais communs, un puits à grande profondeur dans le calcaire.

(2) *Loc. cit.*, voir page 425, note 2 (p. 286 du texte de M. Gosselet).

Digitized by Google

L'éminent ingénieur-hydrologue, M. Moulan, a percé une galerie perpendiculaire aux bancs. Il a recoupé par la galerie tous les joints par où l'eau filtrait. Il n'a eu qu'à la prolonger jusqu'à ce qu'il ait pu obtenir la quantité d'eau qui lui était nécessaire.

M. Verstraeten ignorerait-il qu'également en Belgique, M. Moulan a créé avec le même succès des *galeries drainantes d'eaux potables*, creusées dans le quartzo-schisteux (schistes et grès devonien) à Binche et à Fontaine-Valmont; ignore-t-il qu'il en existe une pareille à Seraing et que l'on va en construire une autre à Ougrée? A Charleroi enfin, les galeries drainantes du plateau de Nalinnes, bien que suralimentées partiellement par un manteau meuble et perméable de sable bruxellien, trouvent une base d'alimentation dans leur traversée d'un massif de grès et de psammites du Devonien inférieur. C'est dire que l'application des conseils de M. Dupont n'a pas été moins utile aux ingénieurs qu'aux paysans!

Et puisque M. Verstraeten cherche constamment à opposer les uns aux autres les géologues qui se sont occupés de l'hydrologie des terrains primaires et à laisser croire qu'ils ne sauraient se mettre d'accord, voici la reproduction intégrale d'un exposé de M. le professeur *X. Stainier*, extrait de la *Monographie agricole de la région du Condroz*, publié par le ministère de l'Agriculture au cours de l'année 1900. On se convaincra en le lisant que M. Stainier se rallie entièrement à la thèse de M. Dupont sur l'hydrologie du Condroz et sur les différences radicales des régimes aquifères de ses deux éléments caractéristiques : les terrains calcaires et les quartzo-schisteux.

Le régime hydrologique du Condroz, par M. le professeur X. Stainier.

Il est un fait qui ne peut manquer de frapper celui qui parcourt le Condroz : presque tous les villages y sont cantonnés dans les sites qui semblent, au premier abord, leur convenir le moins. Ils se trouvent au sommet des plateaux qui recouvrent les protubérances de psammites, où ils sont battus par les vents froids, éloignés de leurs meilleures terres, qui sont le plus souvent situées dans les vallées calcaires. Cette situation est due au régime hydrologique.

Sur ces plateaux, en effet, la nappe aquifère, retenue par la couche d'argile détritique, est près de la surface, alors que sur les plateaux calcaires et dans les vallées de calcaire carbonifère, les roches, extrêmement fissurées, très perméables, laissent passer les eaux avec facilité. Les grandes vallées du Hoyoux, de la Lesse, de la Molignée, etc., drainent ces régions à une grande profondeur, et il faut descendre jusqu'à leur niveau, au moyen de puits extrêmement profonds, pour rencontrer une nappe aquifère.

Cette structure géologique spéciale crée aussi un régime hydrographique bien curieux. Un grand nombre de ruisselets naissent sur les flancs des rides de psammites et s'écoulent, suivant la pente, jusqu'au moment où ils arrivent sur les bancs de calcaire. Là, le plus souvent, ils s'engouffrent dans les crevasses du calcaire ou dans

Digitized by Google

des cavités appelées *aiguigeois, chantoirs* ou *agolinas,* suivant les régions. Après un parcours souterrain plus ou moins long, ces eaux reparaissent sous forme de griffons, généralement très abondants au fond des vallées principales.

On connaît assez les curieux phénomènes hydrologiques des environs de Han, de Rochefort, etc. Les eaux qui ont ainsi circulé à la surface du sol, souvent polluées, ne sont pas toujours débarrassées de leurs germes nuisibles dans leur trajet souterrain. Elles sont alors d'autant plus dangereuses que, les matières terreuses qu'elles véhiculaient s'étant déposées, elles jaillissent très fraîches et donnent l'illusion d'eaux très pures.

Pendant la saison pluvieuse, le fond des vallées calcaires est parfois parcouru par un cours d'eau qui tarit en été. Dans le pays, ces vallées sont appelées des « chavées ».

Dans les régions à sous-sol schisteux, il n'existe pas de nappes aquifères. Les eaux pluviales ruisselant toujours à la surface du sol donnent, au contraire, au cours d'eau une allure torrentielle.

Sur les roches quartzo-schisteuses du Rhénan et du Couvinien, les eaux peuvent s'infiltrer à travers les fissures du grès à une profondeur parfois assez considérable et donner naissance à des sources d'une remarquable pureté.

NOTE ADDITIONNELLE N° 2.

I. — Le dispositif des « serrements » appliqué aux terrains aquifères meubles et dans les terrains rocheux fissurés.

M'occupant d'examiner en quoi consistent les arguments critiques fournis par M. Verstraeten dans son *Examen hydrologique des bassins du Hoyoux et du Bocq* (1), je disais, page 437, que les données qu'il cherchait à opposer, tant à la thèse de M. l'ingénieur Putzeys qu'aux vues des géologues, consistaient en critiques d'ordre technique plutôt que scientifique.

Ce travail, en effet, rencontre principalement les soi-disant défauts et discute les résultats trop optimistes, semblerait-il, d'un système de jaugeage naguère employé pour apprécier le *débit* des sources du parc de Modave, dans la vallée du Hoyoux. L'exposé de M. Verstraeten critique aussi, comme l'avait fait avant lui déjà, M. Putzeys, un projet de dispositif de *captage* de ces sources qui, il faut bien le reconnaître, n'était guère heureux.

Rappelant ces données de *critique technique,* j'ajoutais, au sujet de cet exposé, qu'il ne renfermait pas autre chose.

En réalité, ce n'est pas tout, car un troisième point critique, toujours d'ordre technique, a encore été soulevé par M. Verstraeten. Comme il n'a, avec le régime aquifère des terrains rocheux calcaires que des rapports

(1) *Loc. cit.* (Voir note 2 de la page 436.)

Digitized by Google

indirects quoique pouvant, envisagés au point de vue scientifique et pratique, devenir intéressants, j'ai préféré ne l'aborder que dans ces Notes additionnelles.

Il s'agit du dispositif de retenue des eaux, connu sous le nom de *serrement*, qui a pour but de relever le niveau des eaux souterraines en amont de la prise ou du captage effectué pour le drainage de ces eaux.

Dans son *Étude hydrologique*, intitulée : *Les sources des vallées de l'Ourthe, du Hoyoux et du Bocq* (1), M. l'ingénieur E. Putzeys avait nettement condamné l'application des *serrements* aux terrains calcaires drainés en vue de l'obtention d'eaux alimentaires, alors qu'il préconisait au contraire ce dispositif pour les dépôts aquifères meubles et sableux, même les moins consistants.

M. Putzeys, dans le travail précité, avait (voir pp. 24-25 du Procès-Verbal de la séance du 23 janvier 1894 de notre Société) fort bien montré les graves inconvénients que peuvent parfois présenter les *serrements* établis en terrains fissurés, sauf en vue de certains rôles particuliers exposés par lui à cette occasion. Le but de ces dispositifs était alors tout autre de ce qu'il est en massifs aquifères meubles et d'imprégnation générale, tels que ceux que M. Putzeys se proposait précisément en ce moment-là, comme chef du Service des eaux de Bruxelles, d'établir en connexion avec les galeries drainantes du Bois de la Cambre et de la Forêt de Soignes.

Sur cette question des SERREMENTS, M. Verstraeten, dans son étude critique précitée, défend une thèse *diamétralement opposée* à celle de M. Putzeys. Il reconnaît toutefois avoir lui-même établi, au cours de ses travaux d'autrefois pour la ville de Bruxelles, un premier serrement provisoire dans le *limon gras* de la vallée où se trouve la galerie drainante d'Ophain-Lillois, puis un deuxième, plus en amont, dans du Bruxellien compact. Puis il ajoute :

> Mais, au Bois de la Cambre, les terrains ne conviennent *absolument pas :* ils sont à la fois trop perméables et trop peu résistants, et l'on a choisi, pour y fonder un barrage, l'endroit *le plus défavorable :* une partie de *sables boulants* pour les travaux desquels j'eus à vaincre *les plus grandes difficultés*. Personne n'imaginerait sans doute de jeter un mur *en travers d'une rivière coulant dans un lit de sable*. Il est clair que le relèvement de l'eau en amont ne serait d'abord qu'insignifiant et que *bientôt* il provoquerait des affouillements à la base et sur les côtés de l'obstacle, pour *le miner et le détruire avec tous les ouvrages voisins*.

L'auteur, dont je me suis permis de souligner ici quelques passages topiques, destinés à être rappelés tantôt, ne veut absolument pas admettre la possibilité de succès de ce barrage en plein sable inconsistant et aqui-

(1) *Loc. cit.* (Voir la note 3 de la page 637.)

Digitized by Google

fère, proposé par son hardi successeur au Service des eaux, et, page 165, il revient sur le même sujet, pour ajouter :

Contrairement à ce qui a été soutenu, un serrement dans les sables boulants est une *hérésie,* et celui construit sous le Bois de la Cambre, *si jamais il fonctionne,* ne sera que *compromettant* pour l'ouvrage qu'il traverse : au contraire, un serrement sera de *bonne application dans les calcaires du Condroz* à la double condition d'être installé sous la nappe minima et encastré dans un massif compact et résistant.

Il semblerait que ce qui a si complètement désappointé M. Verstraeten et l'a dissuadé de l'idée qu'un *serrement utile* peut pratiquement s'exécuter dans les sables aquifères du Bois de la Cambre, c'est une expérience personnelle assez malheureuse qu'il y a faite.

On lit, en effet, pages 41-42, tout à la fin du chapitre III (Les eaux du Bois et de la Forêt) de son étude de 1884 sur *Les eaux anciennes et les eaux actuelles de Bruxelles,* quelques détails sur un dispositif de *serrement* établi par M. Verstraeten à la Cambre et qui n'a pas réussi à faire monter à plus de *2 mètres,* dans les terrains d'amont, les eaux que ledit serrement avait pour objectif d'y emmagasiner, dans une région peu judicieusement choisie, avoue implicitement M Verstraeten, par suite de son altitude trop faible. C'est, dit encore l'honorable ingénieur, par suite de la précipitation avec laquelle il a fallu opérer qu'a été commise cette faute, à laquelle, ajoute-t-il, on eût cependant pu remédier en prolongeant de quelques dizaines de mètres le tube de serrement, dont l'extrémité se fût alors trouvée reportée en un point où le terrain atteignait 6 à 7 mètres d'épaisseur au-dessus du radier. Bref, c'est certainement d'expérience personnelle que les serrements en sables meubles aquifères n'ont pas laissé de bons souvenirs à M. Verstraeten, et de là les sombres prévisions et l'amère critique des projets dont s'occupait, en 1894, M. l'ingénieur Putzeys.

Or, le dispositif de serrement qu'a fait édifier M. E. Putzeys successivement en *quatre points* différents du Bois de la Cambre et de la Forêt de Soignes, en plein sable aquifère et mouvant, — et c'est là un véritable tour de force, il faut bien le reconnaître, — bien loin d'être, comme le disait M. Verstraeten, *une hérésie* et de *compromettre* quoi que ce soit, a partout ici constitué une *réussite splendide !* Ces quatre serrements fonctionnent admirablement, font économiser la dépense d'eau suivant le chiffre précis des besoins journaliers et permettent de reconstituer d'énormes réserves aquifères, qu'il eût été absolument impossible de récupérer autrement après l'achèvement des travaux de drainage.

C'est ainsi que, grâce à ce précieux dispositif, si judicieusement et si hardiment appliqué à la distribution d'eau de Bruxelles, on peut actuellement régler les prises d'eau faites au Bois, entre les limites de *zéro* mètres cubes et 10 à 12,000 mètres cubes, à la convenance de la Direction actuelle

Digitized by Google

des travaux; c'est-à-dire que M. l'ingénieur Putzeys ne demande au réservoir des sables aquifères bruxelliens qu'exactement ce dont il a besoin : aujourd'hui 2.000 mètres cubes, demain 3, 4 ou 5.000 mètres cubes, puis *zéro, ad libitum*, à condition, bien entendu, de ne pas brusquer les prises et d'éviter les coups de bélier.

Les serrements précités ont fonctionné depuis plusieurs années, pendant l'exécution de l'avancement des travaux, et depuis pendant un an et demi (à la date actuelle de mars 1901). Ils ont tous été *fermés*, puis *réglés* de façon à remplir le programme ci-dessus.

Bref, grâce aux utiles serrements qu'il a ainsi établis, sans s'arrêter aux sinistres prédictions de son prédécesseur au Service des eaux de Bruxelles, M. l'ingénieur Putzeys est actuellement à même, non seulement de fournir une quantité d'eau bien supérieure aux évaluations de M. Verstraeten, mais encore de dériver, jour par jour, les volumes nécessaires et voulus, sans gaspiller un mètre cube d'eau!

Ces merveilleux résultats, si différents des prédictions pessimistes énoncées, il y a sept ans, par M. l'ingénieur Verstraeten, n'auront que trop clairement prouvé à mon honorable contradicteur que l'on trouve toujours très aisément l'occasion d'apprendre et de faire subir à ses idées et à ses convictions des évolutions parfois aussi profondes qu'inattendues. Il aura pu se dire aussi, en voyant de telles constatations s'imposer contre ses vues dans le domaine spécial de sa compétence, qu'il y a plus de risques encore à vouloir sortir des « limites de sa spécialité », surtout en vue de tout révolutionner! Dans ces conditions, on peut répéter avec lui, mais avec une portée d'application quelque peu différente, qu'il est dangereux « de prétendre à des rôles pour lesquels on ne possède ni le savoir nécessaire ni l'expérience voulue » (1).

Mais cette constatation, toute incidente, ne saurait être le but de la présente Note additionnelle.

Si l'expérimentation a mis hors de doute que M. Verstraeten s'est complètement trompé dans ses prévisions en ce qui concerne l'application des serrements aux dépôts aquifères sableux, si inconsistants qu'ils fussent, la simple raison suffit pour faire reconnaître combien M. l'ingénieur Putzeys a raison de condamner au contraire l'application, que prône M. Verstraeten, du dispositif des SERREMENTS appliqué aux massifs aquifères des *terrains fissurés*.

Certes notre honorable contradicteur y mettait la condition qu'ils fussent installés sous la nappe minima et encastrés dans un massif compact et résistant.

Ainsi énoncé, cela paraît, sur le papier, fort simple; mais étant donné

(1) Voir page 37, § 3, de la brochure extraite du recueil gantois et intitulée : *Dissertations géologiques. Réponse à MM. Rutot et Van den Broeck.*

Digitized by Google

ce que sont souvent en réalité les « couches aquifères » en terrains calcaires fissurés, et tenant compte des *imprévus* que l'on rencontre dans les conditions d'homogénéité, de résistance et de compacité des roches calcaires, il y a là une notion d'aléa considérable, dont il faut tenir compte dans une large mesure.

Mais ce qui est plus grave et ce qui s'oppose au premier chef à l'établissement de serrements dans les massifs calcaires, c'est la crainte, que l'on peut légitimement éprouver, de modifier en quoi que ce soit, par de pareils relèvements des réserves et des écoulements souterrains, le régime aquifère et de circulation de ces terrains à larges fissures et à cavités internes.

Un tel *relèvement* s'opérant au sein du lacis de canaux et de galeries inaccessibles à l'observation directe, peut et doit souvent avoir les conséquences les plus fâcheuses, les plus inattendues, résultant soit de troubles profonds apportés à la circulation souterraine, ou amenant de regrettables stagnations, soit de causes non préexistantes de contamination ou d'influences délétères qui n'existaient point dans le réseau normal circulatoire, antérieurement localisé dans des niveaux inférieurs.

Ici, par exemple, on risquera d'amorcer ainsi un *siphon* rocheux qui, se mettant à fonctionner, déversera, sans qu'on s'en doute, dans le torrent circulatoire du calcaire, des réserves stagnantes, peut-être même croupissantes, pouvant être constituées aussi bien par des eaux louches ou contaminées que par des eaux pures et potables. Il aura suffi que tel réservoir localisé soit en communication, par voie de crevasses et d'aiguigeois ou de bétoires, avec l'un ou l'autre de ces charniers ou de ces écoulements d'habitations rurales dont les dangers ont été depuis longtemps déjà indiqués pour la plupart des plateaux calcaires fissurés, soumis à l'étude de spécialistes : spéléologues et géologues.

Ailleurs, par ledit relèvement dû au serrement, on se sera mis, sans le savoir, en communication avec l'une ou l'autre de ces cavités ou fentes (fermées ou colmatées plus bas seulement), où dévalent, sans filtration, les ruissellements de surface qui, en temps de pluies diluviennes ou de fontes brusques des neiges, sillonnent l'*écumoire* parfois formé par le massif calcaire. Autre part encore, le relèvement graduel des eaux souterraines leur fera rencontrer d'autres débouchés, amènera des points nouveaux de suintement et même de jaillissement, apparaissant alors sous forme de sources nouvelles, d'émergence plus élevée que les régions de captage.

Les eaux peuvent aussi être envoyées *à grande distance* par l'intermédiaire des canaux supérieurs nouveaux — et restant inconnus — inconsciemment mis à leur disposition (1). Toute cette modification du régime

(1) Il est à remarquer que, en règle générale, plus on s'élève au sein d'un massif rocheux, plus le nombre et les dimensions de ses fentes et de ses crevasses restées ouvertes augmentent.

Digitized by Google

aquifère, qui se fera à l'*insu du constructeur de serrement* dans les calcaires, tendra à contre-balancer, par les pertes mystérieusement subies, l'augmentation espérée du réservoir aquifère fourni par le calcaire, de même qu'elle risque d'amener la pollution de certaines des veines liquides alimentaires, dont on aura forcé le réseau circulatoire à se modifier, sans aucun contrôle possible.

Le régime apporté par l'établissement des serrements implique, comme corollaire, un jeu d'oscillations et de fluctuations du réservoir ainsi formé, jeu qui s'opérera à des altitudes auparavant soustraites à ces variations. Mais là encore il y a de nouvelles causes possibles d'altération des eaux.

Il suffit, en effet, de soumettre à des *alternatives* d'imbibition de ce genre certaines substances terreuses ou métalliques, concrétionnées ou d'imprégation générale rocheuse, pour donner naissance à toute une série de *réactions chimiques* et de *décompositions*. Leurs produits et leurs résidus meubles et pulvérulents se trouveront alors dissociés ou dissous dans les eaux, chaque fois que celles-ci seront artificiellement ramenées aux niveaux d'attaque et de corrosion déterminés par l'*amplitude de la zone d'oscillation* que produit le fonctionnement du barrage ou serrement. Des apports pyriteux, sulfureux, séléniteux et autres peuvent donc être la conséquence du dispositif des serrements appliqué aux massifs rocheux calcaires.

Or personne n'ignore que les calcaires et surtout les calcaires anciens, plissés et redressés, constituent le *lieu d'élection* des minerais de toute nature, qui, d'ailleurs, ne représentent que le résidu spécial de phénomènes d'altération, particulièrement développés dans les calcaires du monde entier, grâce à la facile dissolution de cette roche

On voit combien de causes, la plupart insoupçonnées, peuvent contribuer à modifier, avec le volume de la réserve primitive aquifère, la qualité et le degré de sécurité des eaux, et le danger est d'autant plus réel que ses causes *restant cachées*, il est difficile, pour ne pas dire impossible, d'y porter remède.

De tels inconvénients, dans leur ensemble, rarement réuni d'ailleurs, ne peuvent être considérés comme une conséquence absolue et fatale des effets du serrement préconisé en terrain calcaire fissuré, préconisé par M. Verstraeten; mais il suffit que l'un ou l'autre des cas précités soit possible pour que le danger soit en vue. Il convient donc de *condamner absolument* le principe de l'adoption des *serrements* pour les massifs calcaires fissurés, en vue d'en augmenter le rendement comme eau alimentaire.

Cette prescription, qui s'applique surtout aux massifs rocheux des calcaires devoniens et carbonifères de notre pays, si fortement bouleversés et plissés, n'aura pas la même rigueur, évidemment, dans son application aux calcaires relativement réguliers et horizontaux, ou bien obliques ou

Digitized by Google

légèrement ondulés, tels, par exemple, que ceux de la série jurassique qui constitue l'élément de la ceinture secondaire du bassin de Paris.

Les beaux travaux d'hydrologie appliquée de M. l'ingénieur Imbeaux (1), consacrés à l'étude d'un projet d'alimentation d'eau pour la ville de Nancy, montrent un bon cas de régularité et d'homogénéité d'assises calcaires d'âge jurassique, à peine entrecoupées par quelques rares failles et dérangements de terrains. Ces failles, bien reconnaissables, sont normales aux couches, dont elles rabaissent par places les niveaux en une série de larges paliers; elles rompent à peine, en certains endroits, la régularité et l'uniformité d'allures des couches, où le calcaire alterne régulièrement avec des lits d'argiles et de marnes, constituant ainsi des niveaux tour à tour perméables et imperméables. Cette régularité d'allures géologiques est à son tour transmise aux niveaux aquifères considérés (au nombre d'environ 25), très distincts et intercalés entre ces diverses strates parallèles. On voit donc que le régime aquifère de tels calcaires constitue un cas *très différent* de celui présenté par nos calcaires rocheux fissurés, plissés, contournés et disloqués du Primaire franco-belge et de ses prolongements est-ouest, tant en Angleterre qu'en Allemagne.

Il est parfaitement possible, avec les dispositions de ces couches calcaires du Jurassique entourant le bassin de Paris, et notamment en Lorraine, d'arriver, à l'aide de forages de communication judicieusement disposés d'une part, et de l'application de galeries avec serrements appropriés d'autre part, à établir, dans de tels massifs calcaires, des dispositifs de drainage alimentaire dans lesquels la mise en communication de « nappes circulatoires » distinctes et superposées et le relèvement artificiel des réserves aquifères n'auraient nullement les inconvénients qu'offriraient de tels dispositifs dans nos calcaires rocheux plissés, redressés et largemen fissurés. Seule une *étude géologique détaillée* peut permettre d'apprécier, en de tels cas, l'opportunité ou les inconvénients de travaux de ce genre, et seule elle pourra indiquer les mesures de protection à prendre, si on les exécute.

Il a d'ailleurs été montré par l'exposé, dans notre *Bulletin*, de travaux de captage aquifère exécutés à Dombasle, près de Nancy (2), que, dans des couches régulières de calcaire du type précité, on se trouve en présence de dispositions géologiques et aquifères rappelant de très près ce qui s'observe au sein des alternances ordinaires de dépôts meubles et réguliers d'allures, tour à tour perméables et imperméables, c'est-à-dire aquifères ou non. Enfin, au moment où j'achève de terminer (mars 1901) le texte de la présente annexe, M. *C.-T. Moulan* vient de présenter, à la Société

(1) *Loc. cit* (Voir note 1 de la page 392.)

(2) Ch. François, *Le régime des eaux de la région de Dombasle-sur-Meurthe, notamment dans les terrains marneux de terrain secondaire.* (Bull. Soc. belge de géol. de paléont. et d'hydrol., t. VII, 1893. Pr.-Verb., pp. 132-141.)

Digitized by Google

belge de géologie, un intéressant exposé (1), dans lequel il montre que les alternances quartzo-schisteuses du Devonien inférieur et celles du Devonien supérieur peuvent être utilisées, dans une certaine mesure, pour le drainage souterrain d'eaux alimentaires.

Les fissures de ces types de terrains (dans lesquels les grès et les psammites constituent l'élément d'accumulation et de circulation des eaux) *n'ont pas*, comme les canaux et les cavités du calcaire, — qui est infiniment plus attaquable et plus corrodé, — *l'inconvénient de* S'ÉLARGIR SANS CESSE sous l'action chimique des eaux. De plus, tout ce que met en liberté l'*attaque des grès*, si faible que soit celle-ci par rapport à la *corrosion chimique intense* du calcaire, est constitué par un *résidu* SABLEUX *inaltérable* et dont l'accumulation, dans les fentes étroites et difficiles à élargir du grès, forme peu à peu les éléments d'un excellent *dispositif de filtrage interne*, qui n'est pas sans valeur pratique dans certains cas. Dans les terrains de cette catégorie, les eaux, plus divisées, circulent moins vite et subissent donc, dans des fentes et cassures, *se maintenant relativement étroites*, un filtrage plus sérieux, plus efficace et plus prolongé d'ailleurs que dans les calcaires, dont les *gros troncs circulatoires* sont ici absents.

Pour en revenir au travail de M. Moulan, cet auteur montre que les décompositions pyriteuses et autres, dont il a été question plus haut, constituent un inconvénient assez général dans les eaux de la catégorie ici envisagée; mais, dans la pratique, il remédie à cet état de choses en *noyant complètement ses galeries drainantes et d'adduction*, afin d'y éviter absolement l'action néfaste des réactions chimiques de décomposition dues aux fluctuations du niveau de l'eau et aux influences de l'air venant en contact avec les pyrites. C'est pour arriver à un tel résultat que M. Moulan préconise, pour ces travaux en terrains quartzo-schisteux, l'adjonction, aux galeries drainantes à y établir, de *serrements* relevant *par paliers successifs* les eaux souterraines dans le vaste filtre naturel du massif drainé; cette disposition a encore l'avantage, en permettant de diminuer la pente générale des galeries, de ménager davantage les réserves aquifères accumulées dans les profondeurs des bancs gréseux fendillés traversés par les dites galeries.

Il semble donc que dans les terrains rocheux de l'espèce, ce dispositif des *serrements* soit réellement recommandable.

Toujours, quel que soit le point de vue abordé, nous revenons au même résultat, si contraire à la thèse d'unification à outrance de M. Verstraeten : C'est que le principe de la *différenciation* et de la *distinction* des cas, basé sur l'élément essentiel des *données géologiques*, constitue la base de toute l'hydrologie des terrains rocheux fissurés, calcaires ou non.

(1) *Note sur l'utilisation des eaux du Devonien quartzo-schisteux*, par M. C.-T. Moulan. (MÉM. SOC. BELGE DE GÉOL., DE PALÉONT. ET D'HYDROL., 1901, t. XV, pp. 99-109.)

Digitized by Google

II. — Ce que vaut la base d'appréciation du chiffre de rendement des sources et des galeries drainantes à l'hectare-jour, dans le cas des terrains rocheux calcaires plissés et redressés.

En cherchant à combattre les vues qu'à plusieurs reprises, depuis 1890 (1), j'ai défendues (2) au sujet du rôle des extensions souterraines des bassins d'alimentation, dans les massifs rocheux calcaires plissés et redressés, M. Verstraeten a mis en avant toute une série de chiffres relatifs à ce qu'il appelle les moyennes du *rendement* à *l'hectare-jour*, chiffres qu'il présente comme ayant la même signification, la même valeur pour les massifs aquifères de ce genre que pour les terrains meubles ou autres, en disposition horizontale ou faiblement inclinée.

Se basant sur les chiffres les plus élevés fournis par le drainage en terrains homogènes sableux très aquifères, pour apprécier des débits de sources en terrains rocheux calcaires, M. Verstraeten a commencé par contester et par nier, comme invraisemblables et produits par des procédés de jaugeage défectueux, certains gros chiffres de rendement, naguère fournis lors de jaugeages de sources dans la vallée calcaire du Hoyoux. Après d'autres jaugeages, exécutés par des procédés différents, et cette fois d'une exactitude que M. Verstraeten qualifie lui-même de « rigoureuse », les résultats obtenus, quoiqu'en *période sèche*, par contraste avec les premiers, obtenus en *période humide*, furent encore si *déconcertants* par leur ampleur de débit que l'honorable ingénieur a été obligé de chercher le moyen de ne pas devoir s'appuyer sur eux. Ce moyen, il l'a trouvé en s'appliquant, grâce à une ingénieuse et docile série de coefficients de réduction et de diminution *probable* des chiffres OBTENUS, à déterminer ce que pourraient bien *devenir, après une période de sécheresse accentuée, très prolongée*, les chiffres élevés qu'il a été forcé de reconnaître exacts. Il détermine ainsi un *minimum absolu* à prévoir pour le rendement à l'*hectare-jour* des sources dont il s'obstine à ne pas admettre la continuité de débit considérable.

Nonobstant tous ces efforts et ces artifices, les belles sources du parc de Modave — car c'est d'elles qu'il s'agit — s'obstinent, elles aussi, à ne laisser prévoir à M. Verstraeten que des rendements de *minimum absolu* bien SUPÉRIEURS encore, comme débit à l'hectare-jour, à celui fourni par le drainage des réservoirs meubles sableux *les plus favorisés*.

Cet exposé, que je rappelle ici sommairement, a fourni, on s'en souvient, l'objet des considérations émises dans les pages 401 à 402 et spécialement 438 à 441 du présent travail.

Il y a là une anomalie qui étonne M. Verstraeten, et il en recherche

(1) *Loc. cit.* (Voir la note 1 de la page 440.)
(2) *Loc. cit.* (Voir la note 1 de la page 402.)

Digitized by Google

vainement la cause (voir p. 439, § 4). Cette cause est cependant très simple, et depuis 1890 je m'efforce de l'indiquer à mon honorable contradicteur.

Si dans ses connaissances sur la structure et sur le dispositif de circulation souterraine à distance des massifs rocheux calcaires, M. Verstraeten ne parvient pas à trouver les éléments, si accessibles cependant, de la solution que je lui ai fournie du problème; s'il ne parvient pas à se rendre compte que cette solution est obtenue de la manière la plus simple par la *thèse* que je lui ai opposée depuis 1890, que je lui ai représentée en 1894 et que je lui réitère dans le présent travail, à de multiples reprises (1), sous le nom de l'*empiétement des bassins d'alimentation souterraine* par rapport aux limites des *bassins hydrographiques superficiels*, je crois qu'il vaut mieux me dispenser de nouvelles tentatives personnelles pour éclairer mon honorable contradicteur. Après l'avoir prié, simplement, de bien vouloir jeter un coup d'œil sur la figure synthétique n° 9 du présent travail (p. 503), qui expose graphiquement le cas des empiétements souterrains dans les calcaires (*Note additionnelle, n° 3*), je me bornerai à mettre sous les yeux de M. Verstraeten le passage suivant d'une lettre que vient récemment de m'adresser M. l'ingénieur-géologue *H. Forir*, Secrétaire général de la Société géologique de Belgique et répétiteur du *cours de géologie* donné à la Faculté technique de l'Université de Liége, par M. le professeur Max Lohest.

Il y verra ce que pensent de ces chiffres de prétendu rendement à l'hectare-jour, en terrains calcaires fissurés, les hommes de science ayant la redoutable responsabilité d'inculquer aux futurs ingénieurs des Mines la vérité scientifique et les principes d'*application rationnelle* de la géologie et de ses progrès.

« Dans les terrains horizontaux ou faiblement inclinés, on peut déterminer, pour ainsi dire mathématiquement, le bassin hydrographique d'une source. Dans les terrains redressés et plissés, cela est matériellement impossible Telle est la thèse qu'enseigne comme classique M. Lohest dans son cours de géologie appliquée, depuis nombre d'années (à partir de la création du cours). C'est *une forme* un peu différente de présenter la chose, mais qui, *au fond*, est la même que la vôtre. Le bassin hydrographique étant indéterminé, il ne peut être question de rendement journalier à l'hectare. »

C'est la même manière de voir qui est exposée par M. le professeur Lohest lui-même dans les lignes suivantes, extraites du procès-verbal de la séance d'hydrologie du 17 février 1901 de la Société géologique de Belgique (2).

« M. Lohest croit également qu'il est presque impossible de déterminer l'étendue de la surface drainée et, par suite, le rendement à l'hectare, dans des alternances de

(1) Voir pp. 401 et 402 ainsi que pp. 440 et 441.
(2) *Ann. Soc. géologique de Belgique*, t. XXVIII, p. B. 227.

Digitized by Google

schistes et de grès redressés. En tout cas, les règles adoptées pour la connaissance de cette surface dans les terrains meubles, homogènes et horizontaux, ne peuvent être appliquées ici. »

Ma thèse, si vivement contestée par M. Verstraeten, au sujet du rôle et de l'influence de l'*empiétement des réservoirs et des communications souterraines*, sur le débit des sources en *massifs plissés et redressés* calcaires, reçoit ici, par l'appui précieux de l'enseignement officiel donné à la Faculté technique de l'Université de Liége, une consécration et même une extension d'application auxquelles ne s'attendait probablement pas M. Verstraeten, et je me borne à lui signaler le fait.

Bien d'autres vues, je crois même pouvoir dire la presque totalité de celles que je défends ici, d'accord avec les spécialistes compétents en matière d'hydrologie des calcaires, sont conformes aux données de l'enseignement classique du cours de géologie pratique de l'Université liégeoise, et afin de m'en assurer, j'ai prié M. Henri Forir, le savant et aimable répétiteur du cours professé par M. Max Lohest, de bien vouloir s'en assurer lui-même par l'examen des épreuves du présent travail : ce qu'il a fait avec son obligeance habituelle.

Au cours de cet examen, M. Forir a noté qu'à propos de la question, connexe à celle qui vient de nous occuper, des *procédés de jaugeage* des sources, je me suis abstenu de commenter les critiques faites par M. Verstraeten contre le système de jaugeage dit *par déversement*, qui, à Modave, a été employé lors des premiers jaugeages d'avant 1892, et dont les résultats étaient considérés par mon honorable contradicteur comme absolument exagérés et inadmissibles.

Je me suis borné, en effet (voir note 1 de la page 437), à signaler la protestation de M. V. Besme, inspecteur voyer qui, à la demande de la Commission intercommunale des Eaux, a opéré des jaugeages de vérification et qui a conclu que les critiques de M. Verstraeten avaient été *absolument exagérées*.

Ne prétendant à aucune compétence dans cette question technique des inconvénients et des avantages des deux systèmes de jaugeage en présence, j'avais préféré ne pas relever les appréciations de M. Verstraeten, d'après lesquelles le jaugeage par *déversement* n'a nullement la valeur et la précision des jaugeages par *empotement*.

Or, voici ce que m'écrit M. Forir, après l'examen de mon texte, pages 437 et 438 :

« A propos des jaugeages par empotement, vous eussiez pu dire que ces jaugeages donnent de bons résultats avec de faibles venues d'eau, mais que pour les sources ou les ruisseaux de fort débit, il est impossible, par ce procédé, d'obtenir des données quelque peu approchées et que, alors, tout le monde est unanime pour préférer les déversoirs qui, quoi qu'en dise M. Verstraeten, donnent des résultats très exacts quand ils sont bien établis et quand on sait s'en servir.

Digitized by Google

Conclure en unifiant systématiquement; ne jamais distinguer les divers cas; tels paraissent être les principaux et constants défauts du raisonnement et des thèses de M. Verstraeten.

C'est avec des idées aussi erronées sur la prétendue unification de caractères et de propriétés des réservoirs aquifères, tant en terrains sableux, meubles et homogènes qu'en massifs rocheux calcaires, plissés et redressés, que l'application à ces derniers d'une thèse aussi étrangère à leur régime aquifère, que le rôle alimentaire *exclusif* de leur *bassin hydrographique superficiel*, amène M. Verstraeten à de regrettables conclusions. La vérité est donc qu'il ne s'est aucunement rendu compte que les lois, toutes spéciales, régissant l'hydrologie de l'important groupe de terrains précités, les font échapper complètement au *contrôle* comme aux *conclusions* de la théorie hydrologique du *rendement à l'hectare-jour*, spéciale aux terrains meubles, et homogènes dans leurs strates aquifères.

On peut même concevoir que, pour ces derniers terrains, les ressources aquifères pourraient, dans certains cas spéciaux, être grossis d'apports ne provenant pas du bassin hydrographique superficiel. Tel est certainement le cas pour le produit du drainage opéré par des galeries s'alimentant dans des nappes *sous-jacentes à la nappe phréatique*, comme cela se présente pour les eaux alimentaires de Bruxelles.

Mais je ne pense pas qu'il y ait lieu de soulever ici le détail de cette question, appelée cependant à fournir d'intéressants commentaires.

La conclusion pratique à retenir de la précieuse confirmation fournie, par l'enseignement universitaire liégeois précité, à ma thèse de 1890, au sujet de l'*empiétement souterrain* des bassins d'alimentation des massifs calcaires de l'espèce, est que les ingénieurs-hydrologues et entrepreneurs de distributions d'eau commettraient une grave erreur en tentant d'interpréter, comme le fait M. Verstraeten, les constatations de débit fournies par le jaugeage des sources en massifs calcaires plissés et redressés, par les lois du *rendement à l'hectare-jour*.

Celles-ci ne paraissent guère pouvoir s'appliquer qu'aux eaux de la *nappe phréatique* des massifs géologiques, meubles ou autres, d'allures régulières, peu ou point dérangées, et à réservoirs ou à nappes aquifères (1) homogènes et d'imprégnation sédimentaire générale et d'*alimentation verticale immédiate*.

(1) Faisant allusion à l'expression de « couche aquifère » que M. Verstraeten voudrait voir employer en remplacement de celle de « nappe aquifère », qu'il a si vivement combattue, M. *H. Forir* me communique encore les réflexions suivantes, au sujet desquelles je suis entièrement d'accord avec lui.

« Les changements de nomenclature proposés par M. Verstraeten sont loin d'être » heureux. Ainsi pour remplacer « nappe aquifère » il préconise l'expression « couche » aquifère ». A mon sens, c'est fort différent. *La couche aquifère est le* CONTENANT, » indépendamment du contenu. Ainsi on peut dire que le sable et la craie constituent

Digitized by Google

NOTE ADDITIONNELLE N° 3.

QUELQUES OBSERVATIONS SUPPLÉMENTAIRES SUR L'HYDROLOGIE DES CALCAIRES ROCHEUX

suggérées par les derniers exposés de M. l'ingénieur Th. Verstraeten.

I. — A propos des zones aquifères « passive, active et mobile » de M. Verstraeten (1898) dans le dispositif du régime hydrologique des roches calcaires.

Il semble qu'une certaine évolution ait récemment commencé à s'opérer, dans les idées de M. Verstraeten, au sujet du régime aquifère des calcaires.

Déjà dans son *Essai de terminologie hydrologique*, publié en 1898, parmi les documents et rapports préalables du *Congrès international d'Hydrologie médicale, de Climatologie et de Géologie* (session de Liége), on voit apparaître, dans l'exposé comme dans les figures fournies par notre honorable contradicteur (1), les premiers linéaments du dispositif donnant naissance à ce que M. Rutot et moi avons appelé le *régime circulatoire localisé*.

M. Verstraeten subdivise, dans ce travail, le réservoir aquifère en couche *passive*, en couche *active* et même en couche *mobile !*

Déjà, au cours du présent travail, j'ai eu l'occasion de faire allusion à ces dénominations nouvelles de M. Verstraeten, mais sans m'y arrêter pour les commenter, d'autant plus qu'elles s'expliquaient assez bien d'elles-mêmes.

En effet, ce que M. Verstraeten, à partir de 1898, baptise du nom de couche *passive*, n'est autre chose (voir p. 396, fig. 1) que la zone que nous

» des couches aquifères, alors même que, par suite de sécheresse, ils ne contiennent » plus ou presque plus d'eau. *La nappe aquifère*, au contraire, *est le* CONTENU, indépen- » damment du contenant.

» Tout le monde le comprend ainsi et l'on dira très bien la nappe de la couche de » craie, les oscillations de la nappe, tandis qu'il ne viendra à l'esprit de personne de » dire les oscillations de la couche aquifère. Du reste le mot *nappe*, employé même » pour une nappe libre, peut signifier un volume aussi bien qu'une surface. »

(1) Voir pp. 78-115 des *Mémoires* du Congrès.

Digitized by Google

avons appelée, M. Rutot et moi, en 1895, zone du *régime statique*, inférieure ou sous-jacente au thalweg des vallées.

Sa couche liquide *active* n'est autre chose aussi que notre zone BB, dite du *trop-plein* de notre régime statique ou inférieur. Enfin, il y a une frappante équivalence entre la « couche liquide *mobile* » de notre honorable contradicteur et certains des dispositifs de notre *régime circulatoire localisé* D, qui provoque, de même que la « couche mobile », des déversements et des niveaux de sources généralement supérieurs aux venues aquifères des thalwegs fluviaux en vallées calcaires (1).

Lorsqu'on considère que cette différenciation des *trois éléments constitutifs* de l'appareil aquifère des formations calcaires considérées nous a valu, en 1897, à M. Rutot et à moi, d'être si malmenés par l'auteur qui, aujourd'hui, vient, en son nom, exprimer les mêmes vues *avec d'autres mots*, on ne peut méconnaître qu'il y a là, de la part de M. Verstraeten, une évolution bien indiquée. Cette évolution a cependant été retardée et même contrariée dans son essor par la thèse, qui l'hypnotise si fâcheusement encore, de l'unification des régimes aquifères, tant en terrains meubles qu'en terrains fissurés.

(1) Dans son *Essai de terminologie hydrologique*, tel qu'il a été publié et distribué à Liége, en 1898, parmi les *Rapports* préalables du Ve Congrès d'hydrologie médicale, on trouve, page 17 du tiré à part, l'exposé suivant :

« Sur la couche liquide *passive*, il s'est donc établi une deuxième couche, mais » *active*, de l'amont à l'aval; et, en même temps, par-dessus cette dernière, s'en est » constituée une troisième, également *mobile*, dont la nappe, dès qu'il y a déverse- » ment, incline en se bombant vers les réservoirs. »

A peine énoncée en 1898 à Liége, la notion de la couche supérieure *mobile*, distinguée sous ce nom de la couche *active*, disparait déjà en 1899, à Gand. Il convient de faire remarquer à ce sujet que l'*Essai de terminologie hydrologique* de M. Verstraeten, *fortement remanié*, *corrigé* et *remis au point* par lui, a été RÉIMPRIMÉ avec, par conséquent, de nombreuses et profondes différences de texte dans la quatrième livraison du tome XXII des *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand*, en 1899. C'est cette dernière version que M. Verstraeten a également représentée, en 1899, à la Société belge de Géologie, pour être incorporée dans les *Traductions et Reproductions* du volume XIII (de 1899) de notre BULLETIN. La phrase ci-dessus du Congrès de Liége y est remplacée par la suivante, qui présente autrement la distinction d'une zone supérieure dite *mobile*. Il n'y a plus en présence, au-dessus d'une zone inférieure *passive*, que deux zones *actives* superposées mais restées distinctes : « Sur la couche liquide dite *passive*, il s'est donc établi une deuxième » couche dite *active*, et, en même temps, par-dessus cette dernière s'en est constituée » UNE TROISIÈME, également *active*, dont la nappe, dès qu'il y a déversement, incline en » se bombant vers les déversoirs. »

Les deux mots que je reproduis ici en petites capitales montrent que malgré la suppression de l'expression *couche mobile*, M. Verstraeten reconnait l'existence de TROIS TERMES *superposés* et *distincts* dans l'appareil aquifère des dépôts considérés. Or c'est là ce qui caractérisait notre « conception hydrologique nouvelle » de 1895, à M. Rutot et moi.

Digitized by Google

Ne pouvant, après ses critiques de 1897, soulevées au sujet des divers éléments différentiels que nous avions indiqués, M. Rutot et moi, dans le régime aquifère de certaines dispositions de roches calcaires, décemment les adopter en 1898, M. Verstraeten, forcé d'en reconnaître l'existence, s'est donc tiré d'affaire en les débaptisant ; ce qui lui donne même l'air d'avoir *innové !*

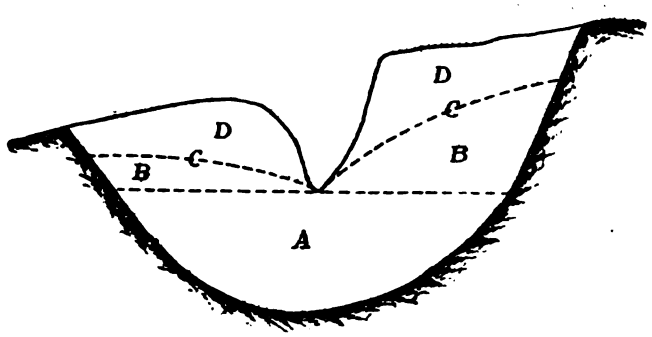


FIG. 8. — Rappel du dispositif présenté par le régime aquifère des eaux imprégnant un massif calcaire fissuré, recoupé par une vallée drainante.

A. Partie du bassin calcaire fissuré *ABCD*, sous-jacente au niveau du thalweg draineur central et contenant, dans ses fentes et crevasses, des réserves aquifères non drainables ni déversables sur le plan vertical représenté. Ces eaux ainsi emmagasinées et qui, à une certaine profondeur dans la zone *A*, peuvent s'y trouver *à un état de repos absolu*, constituent la zone inférieure du *régime statique* (Rutot et Van den Broeck, 1895) et aussi la zone de la *couche passive* de M. Verstraeten (1898).

BB. Partie supérieure de la nappe aquifère, drainée par le thalweg et par ses sources. Ces eaux, en mouvement d'écoulement centralisé vers le thalweg draineur, constituent la zone du *trop-plein* du régime inférieur statique (Rutot et Van den Broeck, 1895) et représentent la zone de la *couche active* de M. Verstraeten (1898).

CC. Alignement approximatif des surfaces, localisées et discontinues, du réservoir aquifère, constituant le niveau piézométrique général de la nappe *B*. C'est à cette *surface* que M. Verstraeten applique exclusivement la dénomination de *nappe aquifère*, appliquée par nous au réservoir *A BB*.

DD. Massif calcaire dont l'ensemble figuré est *à sec*, mais dont les canaux et cavités conduisent les eaux circulatoires *localisées*, soit permanentes (engouffrements d'eaux courantes de plateau), soit périodiques ou accidentelles (fontes de neiges, ruissellements pluviaux et d'orages). C'est la zone du *régime circulatoire localisé* de MM. Rutot et Van den Broeck (1895) et, dans une certaine mesure, la zone de la *couche active supérieure* ou *mobile* de M. Verstraeten (1898-1899). C'est aussi la zone qui, dans beaucoup de cas, constitue le lieu d'élection de la masse principale, et essentiellement circulatoire, des réserves aquifères de certains massifs calcaires.

Nota. — Le tracé de cette coupe schématique, reproduit d'après M. Verstraeten, devrait, pour représenter avec plus de fidélité la réalité des choses, être ÉTIRÉ FORTEMENT *en longueur*, afin d'éviter la facile méprise qui consisterait à y voir la coupe transversale du bassin calcaire, ici représenté par une coupe *parallèle au grand axe du bassin*. Le substratum du massif calcaire *ABCD* est constitué, comme dans nos types de bassins condrusiens carbonifères, par une formation quartzo-schisteuse, et schisteuse en profondeur, s'opposant à la circulation et à l'infiltration souterraines des eaux du calcaire.

Digitized by Google

Je ne critique nullement ces dénominations de *zone passive*, de *zone active* inférieure et de zone active supérieure ou *mobile*, et je les adopterais même sans grande difficulté, vu leur caractère pratique et concis; mais je viens de constater qu'elles sont tout simplement la *réédition*, sous des appellations différentes, des éléments différentiels dont l'existence a été signalée, par M. Rutot et moi, en 1895. Je tiens à constater aussi que c'est cet exposé, très incident d'ailleurs, d'une thèse, qualifiée en 1897 par M. Verstraeten de « conception hydrologique nouvelle », qui nous a valu, à cette époque, la critique à laquelle répond le présent travail.

Dans l'étude assez détaillée qu'il a faite de la *zone passive*, soit de notre zone inférieure A ou du *régime statique*, sous-jacent au thalweg des vallées (voir fig. 8), M. Verstraeten insiste sur un point qui n'est pas dépourvu d'intérêt et sur lequel je me déclare absolument d'accord avec lui.

Lorsqu'on représente par une coupe transversale à la vallée, comme c'est le cas pour la figure 1 de la page 396, que je reproduis d'ailleurs plus haut (fig. 8) pour plus de facilité, le régime aquifère d'un bassin calcaire, enchâssé dans un substratum imperméable, il faut tenir compte des éléments de drainage fournis par *la région d'aval*, qui ne peuvent être *représentés* dans une telle figure.

Le réservoir inférieur A qui, pour la région de la *section* ici considérée, de même que pour toute la région d'amont, constitue une couche d'eau *passive*, c'est-à-dire n'y pouvant trouver d'écoulement, ne se présente plus dans les mêmes conditions vis-à-vis des *régions d'aval*. Relativement à celles-ci, les tranches supérieures de la zone de notre régime statique A (zone passive de M. Verstraeten) peuvent être considérées comme se rattachant à la zone du *trop-plein* B (*zone active* inférieure de M. Verstraeten). L'épaisseur de cet ensemble de tranches supérieures de A, influencées par la région d'aval et ses déversements, et qui, pour cette dernière région, devrait être englobé dans la zone du trop-plein B, est déterminée par l'altitude en contre-bas des points drainants les plus inférieurs de la vallée considérée. Tantôt ce sera la limite, en aval, du calcaire fissuré dans son contact sur le schiste imperméable sous-jacent qui déterminera ce point; tantôt ce sera le point *le plus bas* atteint *en aval* par ce même calcaire fissuré.

Reprenant et complétant, cette fois absolument d'après nos vues à M. Rutot et à moi, le diagramme représentant, dans le cas de disposition calcaire considéré, le régime aquifère formulé par notre « conception hydrologique nouvelle » de 1895, nous obtiendrons le diagramme de la page ci-contre, qui tient compte des circonstances qui viennent d'être indiquées.

Digitized by Google

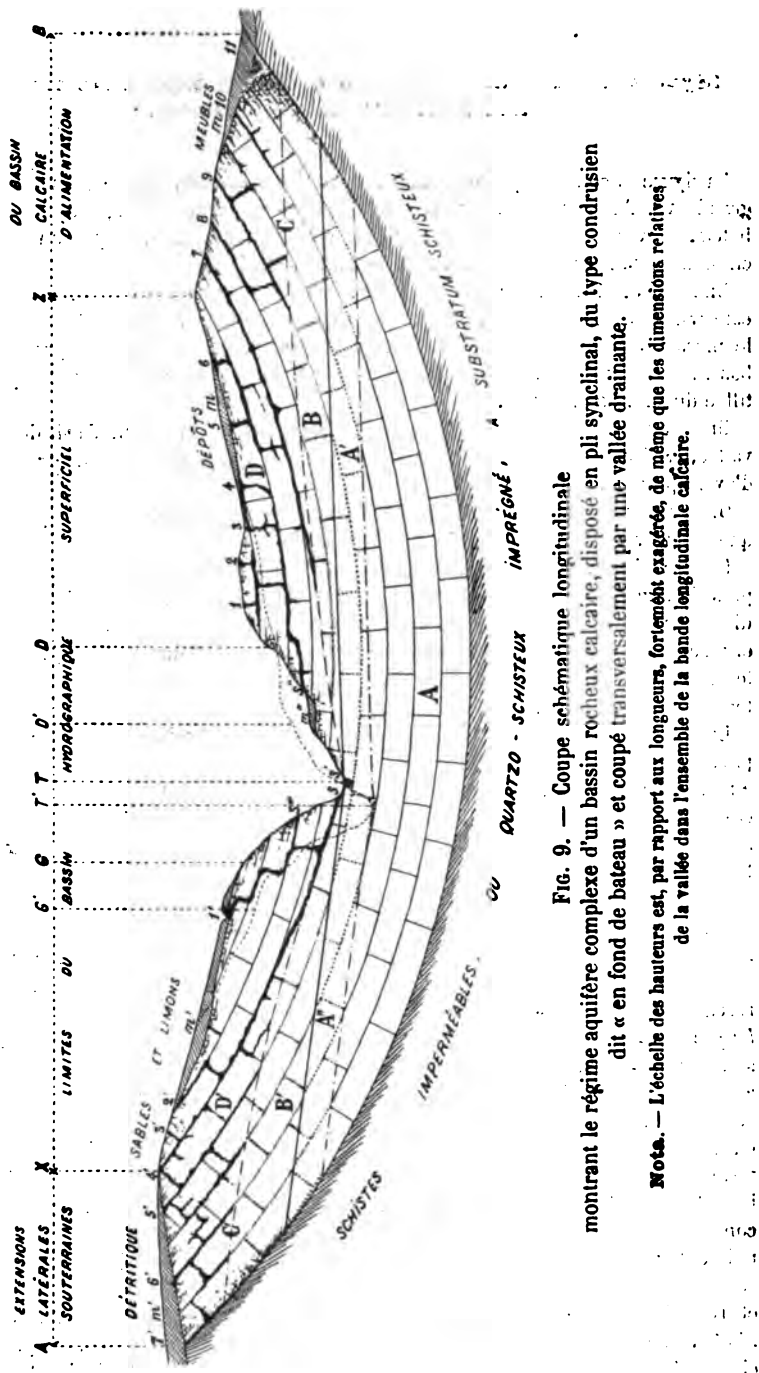


FIG. 9. — Coupe schématique longitudinale montrant le régime aquifère complexe d'un bassin rocheux calcaire, disposé en pli synclinal, du type condrusien dit « en fond de bateau » et coupé transversalement par une vallée drainante.

Nota. — L'échelle des hauteurs est, par rapport aux longueurs, fortement exagérée, de même que les dimensions relatives de la vallée dans l'ensemble de la bande longitudinale calcaire.

Digitized by Google

Légende détaillée de la figure 9 et Notice explicative consacrée aux divers éléments représentés.

La figure ci-contre représente une section *longitudinale*, tracée parallèlement au grand axe, d'un bassin calcaire rocheux, disposé en cuvette allongée ou en « fond de bateau » et reposant sur un substratum schisteux ou autre, s'opposant à la libre circulation souterraine des eaux sous le massif calcaire.

Une vallée, dont le flanc droit est en *D*, le flanc gauche en *G* et dont le thalweg, *T*, est occupé par une rivière et par des émergences latérales de sources (*s* et *s'*), traverse le massif calcaire dans une direction *perpendiculaire* ou oblique au grand axe du bassin rocheux fissuré (il s'agit ici des lettres *D G T* qui se trouvent sur la ligne pointillée du haut de la figure).

Une autre section, située plus en arrière et prise dans la région *d'aval* de la même vallée, est fournie par le tracé de la ligne pointillée qui se projette derrière la section d'avant-plan, au centre de la figure.

On y retrouve en *D'*, en *G'* et en *T'* respectivement les flancs droit et gauche ainsi que le thalweg, plus rabaissé, de cette section d'aval.

Le massif calcaire est constitué par une succession de bancs, représentés ici, pour plus de simplicité graphique, *uniformes* dans leur épaisseur et *réguliers* dans leur disposition, bien qu'il n'en soit nullement toujours ainsi. Quant à la roche calcaire, elle se trouve ici subdivisée par une *minime* quantité de joints et de lithoclases, dont le nombre est en réalité *beaucoup plus grand* que ce qui se trouve représenté sur la figure, qui vise surtout à la simplicité synthétique.

Les fissures ainsi formées, lorsqu'elles ne sont pas resoudées ou colmatées et remplies de résidus limono-argileux ou autres, constituent, par anastomose, un réseau à mailles diversement communicantes, assez souvent même largement ouvertes, avec cavités, parfois même élargies en grottes; celles-ci sont alors généralement alignées sur les lignes principales, ou diaclases, de grandes fissures tectoniques traversant très généralement le massif calcaire au travers d'épaisses séries de bancs variés.

C'est encore là un élément adventif *non figuré ici*, mais qu'il est facile de concevoir en adaptant à la figure 9 le tracé irrégulier des grandes fissures, ou diaclases, marquées D dans les figures 11 et 12 (pp. 512 et 518), reproduites d'après M. Verstraeten.

L'ensemble complexe et éminemment variable, suivant les cas considérés, de ce réseau de fentes, de cassures, de joints, de diaclases, de cavités et de grottes, constitue *l'espace discontinu mais communicant* dans lequel se trouve, soit amassée au repos, soit en état circulatoire, général ou localisé, l'eau d'infiltration qui constitue la réserve aquifère du calcaire. Une partie de ce réseau, généralement à sec, peut, dans certaines conditions et sous diverses influences, s'adjoindre comme siège d'extension de la zone circulatoire des eaux. C'est celle, notamment, qui, dans la figure 9, est représentée sous forme d'épaississements irréguliers et fortement encrés, du réseau des joints et lithoclases de la zone supérieure DD'. Ces parties foncées représentent les *canaux* constitués par des fissures et par des joints suffisamment ouverts pour que les eaux puissent y circuler. Il convient de ne pas perdre de vue que ce même dispositif de canaux, de moins en moins développé comme dimensions, de plus en plus localisé et restreint comme nombre, existe aussi dans les zones aquifères ou noyées BB', A'A'' et A. S'il n'a *pas été figuré* au sein de celles-ci, c'est pour ne pas compliquer et surcharger le dessin, dont l'échelle ne permet pas de rendre de tels détails. Il est d'ailleurs

Digitized by Google

à remarquer que le nombre, la proportion et les dimensions de ces canaux aquifères, dans les zones BB', A'A'' et A sont essentiellement variables suivant le degré de fissuration, suivant la structure et la nature chimique des diverses zones ou parties du massif calcaire et, enfin, suivant l'influence locale, *très variable*, des phénomènes tectoniques qui l'ont plissé, plus ou moins fracturé et disloqué. Dans certains massifs calcaires rocheux, peu dérangés et d'allures régulières, on peut même admettre qu'en A le nombre des joints et des diaclases permettant l'introduction des eaux peut être parfois si minime que, pratiquement, on peut alors considérer cette zone inférieure A comme *absolument dépourvue de ressources aquifères*. Ce qui est incontestable assurément, c'est que le réseau aquifère de fissures, de joints, de canaux et de cavités est en général d'autant plus développé qu'on s'élève davantage, dans le massif calcaire, vers sa surface d'affleurement.

La figure 9 montre, plus nettement encore que ne l'ont représenté les figures précédentes, comment s'établit la répartition, en *trois éléments principaux*, des diverses manières d'être de l'eau au sein des massifs calcaires.

Le *premier de ces éléments* est représenté en A A'A'' dans les profondeurs, où s'établit — quand la fissuration de la roche le permet — la réserve aquifère que M. Rutot et moi nous avons appelée, en 1895, la zone inférieure du *régime statique*, sous-jacente au thalweg (T) de la vallée. Par rapport à la région de la coupe figurée et par rapport à ce thalweg, la masse des eaux de cette zone inférieure A A'A'' ne peut subir aucun phénomène naturel de drainage ni de tendance à l'écoulement. Aussi est-ce là ce que M. Verstraeten a appelé sa *couche liquide passive*. D'accord en cela avec notre honorable contradicteur, nous devons cependant reconnaître la distinction nécessaire, dans cette zone passive, d'une *tranche supérieure* A' A'', influencée par rapport au point inférieur T' de drainage de la région d'aval, point dont l'altitude détermine l'épaisseur de la tranche A' A''. Celle-ci, absolument passive par rapport à la coupe figurée, dont le thalweg est T, deviendra active et sujette à déversement par rapport à la coupe d'arrière-plan et d'aval *D' T G'*. C'est ce que M. Verstraeten, avant nous, a fait nettement observer.

J'ai toutefois cru plus correct, et plus conforme à la réalité des faits et aussi des lois hydrodynamiques, de délimiter les surfaces séparatives des zones A A'A'' et B B', non par des tracés horizontaux rectilignes et tangents aux thalwegs draineurs T et T', comme le figure M. Verstraeten, mais par des lignes brisées et obliquement convergentes, vers ces points bas de soutirement. En un mot, je les ai supposées sous l'influence, *amoindrie toutefois*, des lois hydrodynamiques ayant donné lieu plus haut, en C, à l'allure caractéristique et bien connue de la surface supérieure des nappes phréatiques.

Le *deuxième élément* primordial du régime aquifère considéré est fourni par la zone B B'. C'est celle du *trop-plein* de notre zone statique inférieure (A A'A'') de 1895 : c'est la *couche liquide active* de M. Verstraeten (1898). L'allure de cette zone et la forme plus ou moins parabolique de son niveau de surface C se trouvent tout naturellement expliquées par le déversement dans le fond de la vallée qu'y opèrent les sources *s s'*. Parfois ces sources latérales visibles sont remplacées par des sources cachées alimentant la rivière directement par dessous, comme les vallées du Bocq et du Hoyoux en fournissent, par places, des exemples.

La surface C C' de la zone active B B', surface qui n'a d'ailleurs aucune *continuité réelle* et qui n'est qu'*une surface synthétique d'équilibre* de niveaux partiels et localisés entre les assises disjointes du calcaire, peut subir quantité d'influences locales, même temporaires, faisant varier par places le niveau de cette surface C C'. Il suffit d'invoquer, par exemple, les effets d'un violent orage, accompagné de pluies dilu-

Digitized by Google

viennes et de ruissellements intenses. Supposons-le sévissant seulement dans la région du plateau dénudé *de droite*, ayant la région de la crête de partage Z pour centre. Les fissures et les bétoires de ce plateau calcaire vont immédiatement fonctionner, *indifféremment dans* LES DEUX BASSINS SUPERFICIELS ▬ ▬ et ▬ ▬, mais le tout au bénéfice alimentaire du *seul* massif considéré et de ses seules sources *s'* et autres, de la région droite d'aval.

La chute pluviale du bassin ▬ ▬, y compris celle de son versant schisteux de droite, non représenté dans la figure, à la droite de ▬, ne pourra avoir d'autre exutoire souterrain que ce même groupe de sources, appartenant au bassin hydrographique superficiel ▬ ▬, et tel est le mécanisme simple, précis et indiscutable, servant de base à la thèse si justifiée de l'empiétement des zones d'alimention souterraine des calcaires.

Rien n'est plus aisé, grâce à la figure 9, que d'analyser le phénomène dans ses détails.

Par les fissures ou orifices 1, 2, 3 et 4 vont s'*engouffrer*, dans les trois premiers, s'*infiltrer* plus lentement dans le dernier (recouvert par *m*) les eaux de ruissellement qui, sous forme probablement d'eaux troubles, suralimenteront rapidement la source supérieure *s''* de la terrasse *m''*, tandis que les orifices 5, 6, 7 d'une part, 8, 9, 10 de l'autre, fourniront, par leur apport temporaire et moins rapide, en deux régions distinctes de la surface aquifère C, des afflux d'eaux et des relèvements locaux, causés par la localisation des débouchés et des voies d'envahissement pouvant ainsi alimenter, en certains points seulement, la nappe aquifère B.

Dans le cas considéré, les eaux de ruissellement, atteignant, au sein du massif rocheux, la surface *c'* de la nappe active ▬, vont se mélanger avec elle dans une certaine mesure, prendre part à un phénomène de transport assez prolongé, se filtrer plus ou moins et, *si ces eaux du plateau ne sont point chargées de principes nocifs ou délétères*, elles peuvent subir un certain degré d'élaboration et arriver aux sources inférieures dans un état plus ou moins compatible avec les usages alimentaires.

La source inférieure *s'*, après un certain temps verra son débit augmenter sous l'influence de la surcharge amenée par l'afflux temporaire transmis au réservoir ▬ par les canaux débouchant de 5 à 10 et aussi du dispositif spécial marqué 11. Vu la distance, il se peut que ce gonflement de la source *s'* ne soit accompagné d'aucun trouble, les eaux de ruissellement ayant pu se trouver suffisamment filtrées ou suffisamment diluées dans la masse de la nappe B.

La source supérieure *s''* fournira des eaux certainement plus troubles et plus variables en qualité et en quantité que la source *s'* et devra *absolument* être rejetée pour les usages alimentaires. Quant à la source inférieure *s'*, peut-être admissible ou acceptable en temps normal, elle *risque* toujours d'être contaminée, si par exemple l'orifice ou le bétoire 7, 8 ou 9, non protégé, vient quelque jour à laisser infiltrer au sein du massif calcaire des eaux polluées ou chargées de principes nocifs de nature à provoquer de fâcheuses proliférations dans le réseau aquifère souterrain B.

Pendant ce temps, la surface C' de la zone aquifère active B', sous le plateau *gauche*, non influencé par cet orage local, n'aura subi aucune fluctuation, et le suintement supérieur *s'''*, pas plus que la source inférieure *s*, n'auront subi aucun apport supplémentaire à leur débit normal.

Le *troisième élément* du régime aquifère considéré est fourni par la zone DD' ou du *régime circulatoire localisé*, tel que M. Rutot et moi l'avons défini en 1895. C'est, *jusqu'à un certain point*, la *couche liquide mobile* de M. Verstraeten (1898) ou sa *couche active supérieure* (1899).

Cet élément est figuré sous forme de l'ensemble des canaux de circulation aquifère, généralement temporaire, qui, dans la figure 9, se trouve représenté en teinte noire

Digitized by Google

accentuée, sous forme d'élargissements localisés des joints et des cassures contournant irrégulièrement les blocs dont l'assemblage constitue le massif calcaire.

Ce n'est point le lieu de tirer ici de cette figure 9, dressée en vue d'un exposé plus complet, — qui sera fourni ailleurs, — tous les développements que comporte son examen détaillé. Cependant, il convient de signaler le rôle, tant de protection d'une part, que d'insécurité d'autre part, au point de vue de la filtration des eaux, qu'il faut attribuer au développement, à la présence ou à l'absence des *dépôts meubles*, soit détritiques, soit de sable et de limon qui, localement, et avec des épaisseurs diverses (en *m* et en *m'*) ou avec certaines solutions de discontinuité (en 1, rive gauche) recouvrent et protègent la surface éminemment absorbante du calcaire.

Dans le cas représenté par la figure 9, il est assez facile de voir, à la simple inspection de la figure, qu'*une étude géologique* du massif calcaire et des dépôts meubles et filtrants qui le recouvrent permettrait bien vite de désigner le massif de gauche *a A* de préférence à celui de droite, *a' A'*, soit pour le captage des sources inférieures *s* ou *s'*, soit pour l'établissement d'une galerie filtrante, dirigée alors suivant la direction *s* B', plutôt que de *s'* en B. L'épaisseur, comme le développement horizontal des dépôts meubles *m'*, du plateau de gauche favoriseront, en effet, la filtration *préalable* des eaux superficielles du plateau, tout autrement que le très mince et très localisé dépôt *m* du plateau de droite. Quant aux mesures de protection à faire décréter, elles peuvent se borner, du moins dans la région de la coupe, à obtenir l'obturation bien assurée du dangereux aiguigeois découvert, marqué 1', et à prendre des mesures pour éviter toute contamination éventuelle et ultérieure aux orifices 2' 3' et 4', également non recouverts du manteau protecteur et filtrant *m'*.

Il est facile de s'assurer que ces conditions relativement favorables ne se représentent nullement sur le plateau de droite, et il est plus facile encore de constater, par l'examen de cette figure, que le choix de la solution à intervenir et des études de protection à entreprendre sont du domaine *strictement géologique*.

J'ai tenu à représenter aussi dans la figure schématique ici fournie, un cas très fréquent dans nos calcaires primaires du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse. C'est ainsi que la figure 9 montre (à gauche, sous A et en 7') que si sous des plateaux calcaires régulièrement inclinés et protégés par d'épais sédiments, pouvant être argileux et imperméables, il existe parfois, à la limite des calcaires et des schistes, des zones de contact où le calcaire est peu attaqué, faiblement corrodé ou dissous, il peut s'en trouver aussi où les conditions topographiques, telles que : dépression du terrain, absence d'éléments *argileux protecteurs* etc., ont amené, sous les dépôts meubles recouvrants, tant des époques anciennes d'émersion que des époques quaternaire ou moderne, des *biseaux accentués d'attaque* et de *dissolution du calcaire*. C'est de cette manière que, dans les régions à bandes calcaires devoniennes et carbonifères de la haute Belgique, se sont conservés jusqu'à nos jours *les terrains meubles* graduellement effondrés dans ces zones de contact attaquées et où s'est opérée une dissolution souterraine du calcaire ; c'est-à-dire les amas et les poches de sables et d'argiles tertiaires, accompagnées parfois d'amas de minerais, résidus de la dissolution du calcaire. C'est ce que j'ai cherché à figurer en 11, à l'extrémité de droite de la figure 9. Ces zones corrodées et très *véhiculatoires* des eaux d'infiltrations superficielles — aisément amenées dans les profondeurs, grâce à ces poches sableuses et meubles, ayant ainsi remplacé le calcaire dissous — sont TRÈS FRÉQUENTES le long des bords *latéraux* ou *transversaux* de nos bassins calcaires primaires du type de celui ici représenté toutefois dans le sens de sa longueur. Les dispositions de ces poches souterraines ou parfois affleurantes de sables, d'argiles et de minerais, sont une des caractéristiques du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse, déterminant nettement, en coïncidence avec

Digitized by Google

des alignements de dépressions et avec des caractères orologiques spéciaux, les allures des *lignes de contact* du calcaire et des schistes (1).

Ces accidents jouent un rôle important dans l'alimentation des eaux souterraines du calcaire, et c'est pourquoi ils devaient être signalés ici et faire partie des éléments constitutifs de la figure schématique n° 9.

Avant de finir cette note explicative, déjà longue cependant, de la figure 9, il convient de faire remarquer avec quelle incontestable évidence cette figure rend compte du phénomène, si fréquent, de l'*empiétement* de la région d'alimentation souterraine des sources d'une vallée considérée par rapport aux limites du *bassin hydrographique superficiel*.

Si après ces données graphiques, si simples qu'elles n'exigent aucun commentaire après ce qui a été dit déjà de cette question, M. Verstraeten persiste à ne pas reconnaître le bien fondé de cette thèse, il faudrait renoncer à admettre que la discussion scientifique puisse servir à quelque chose!

Au risque de faire plus ou moins double emploi avec certaines parties de la légende détaillée qui précède de la figure 9, je pourrais difficilement me dispenser d'apprécier rapidement les principaux éléments constitutifs du dispositif aquifère que j'ai cherché à représenter dans cette figure schématique.

Comme dans la figure précédente, qui n'est elle qu'un simple croquis, nous avons ici en A, dans la figure 9, la zone inférieure de notre *régime statique*, qui n'est autre chose que la « couche aquifère du calcaire » de M. Verstraeten, en 1897, et qui correspond à sa *couche liquide passive* de 1898. En BB', nous avons les eaux en mouvement et alimentant les sources du thalweg, surtout en aval de la section, qui constituaient notre *trop plein* B de 1895, et que M. Verstraeten baptise, à partir de 1898, du nom de *couche liquide active* inférieure. En CC' se trouve la ligne piézométrique discontinue reliant les surfaces partielles du niveau supérieur et sujet à oscillations, délimitant le trop-plein BB'. C'est la *nappe aquifère* proprement dite de M. Verstraeten, ainsi comprise par lui, et par lui à peu près seul, dans ce sens spécial et restreint.

En DD' on voit, cette fois représenté conformément à notre exposé de 1895, le réseau de canaux, cassures, joints et cavités, la plupart vides, d'autres aquifères, qui constituent le dispositif irrégulier — et variable suivant le degré de corrosion interne de la roche calcaire — que nous avions, en 1895, synthétisé sous le nom de zone du *régime circulatoire localisé*. C'est, dans une certaine mesure, la couche active supérieure ou *mobile* de M. Verstraeten (à Liége, en 1898). Comme le montre la figure 9,

(1) E. Van den Broeck et A. Rutot, *De l'extension des sédiments tongriens sur les plateaux du Condroz et de l'Ardenne et du rôle géologique des sables d'effondrement dans les régions à zones calcaires de la haute Belgique.* (Bull. Soc. belge de géol., de paléont. et d'hydrol., t. III, 1888; Procès-verbaux des séances, pp. 9-25. Séance du 25 janvier 1888.)

Digitized by Google

les canaux de ce régime circulatoire localisé alimentent, les uns (1), le trop-plein BB' ou réservoir interne en mouvement du calcaire, et les autres (2) assez spécialement les sources *s''s'''* — quand il y en a — des niveaux de déversement supérieurs au thalweg et coïncidant parfois avec des alignements de terrasses (*m''*) disposées sur les flancs de la vallée.

Quant à la tranche supérieure A'A'' de la nappe inférieure A, *stagnante* ou *passive*, elle représente la portion de cette nappe qui, passive pour la section représentée, devient cependant active pour la région de drainage d'*aval*. Il est bien entendu que le réservoir A ne peut exister — sous forme de nappe passive — que pour autant que, dans sa profondeur, le massif calcaire soit suffisamment fissuré et disjoint pour permettre à l'élément liquide de s'y loger interstitiellement. Aussi n'est-on nullement en droit d'évoquer, en règle générale, l'existence du réservoir A sous forme d'une masse aquifère assez développée entre les parties compactes du roc calcaire. Le réservoir inférieur passif de cette nappe aquifère peut ne consister qu'en quelques rares fissures accidentelles, remplies d'une eau à l'état de repos. Quels que soient toutefois le volume ou le degré de généralisation ou de localisation des eaux passives interstitielles de la zone inférieure A, celles-ci peuvent être considérées comme renouvelables et d'alimentation continue par voie de drainage artificiel ou de puits y accédant. Naturellement, le fait de l'intervention humaine leur fera perdre alors leur qualité d'eaux « passives ».

Si maintenant nous nous reportons à ce que dit M. Verstracten dans son *Essai de terminologie hydrologique* de 1898 (reproduit à peu près sans aucune modification dans cette partie de son texte réédité à Gand en 1899), nous voyons qu'il examine, à un point de vue qui n'est pas à négliger, soit à celui des conséquences spéléologiques, le rôle de cette subdivision d'une zone supérieure A'A'' à distinguer dans la zone passive A.

Voici la figure qu'il fournit à ce sujet, et il suffit d'y jeter un coup d'œil pour se rendre compte — par l'action combinée, qu'il faut invoquer en la matière, des actions chimiques et mécaniques — du processus de formation des cavernes O et O' dans les zones A et B de la figure reproduite à la page suivante.

Mais, dans la zone C *en mouvement* et devenant ainsi *active* par rapport aux régions d'aval, zone qui ici dans la figure 10 constitue la partie supérieure de la zone passive D, M. Verstraeten trouve, par suite des actions chimiques et mécaniques résultant dudit mouvement, les causes de la création des cavernes situées, telles que O'', *au-dessous du niveau du thalweg de la vallée*. Cela pourrait être justifié dans certains cas. Toutefois,

(1) Ce sont ceux dont les orifices sont, dans le schéma de la figure 9, numérotés de 5 à 10 à la surface du plateau de droite et 2' à 7' à la surface du plateau de gauche.

(2) Ce sont ceux respectivement numérotés, dans la même figure, 1 à 4 et 1'.

Digitized by Google

je crois que de telles cavités ou cavernes, surtout quand elles ne se présentent pas comme de simples canaux d'écoulement souterrain, mais sous forme de chambres ou élargissements notables formant de véritables grottes ou cavernes localisées, sous-jacentes aux thalwegs fluviaux, *peuvent avoir plus généralement une autre origine.*

Pour s'en rendre compte, il faut faire appel à certains phénomènes d'ordre essentiellement tectonique. Il faut se souvenir aussi que les modelés hydrographique et orographique des temps modernes et actuels diffèrent parfois considérablement, par suite du jeu des mouvements et des oscillations séculaires du sol, de ce qu'ils étaient dans les diverses phases de la dernière émersion quaternaire ou préquaternaire. Ces mouvements du sol, qui se traduisent par un jeu basculatoire de relèvements et d'abaissements de l'écorce terrestre, ont donc, dans bien des régions, dû produire de longs et séculaires affaissements de régions à massifs rocheux et fissurés, qui ont ainsi pu occuper naguère, *bien au-dessus des bas niveaux*

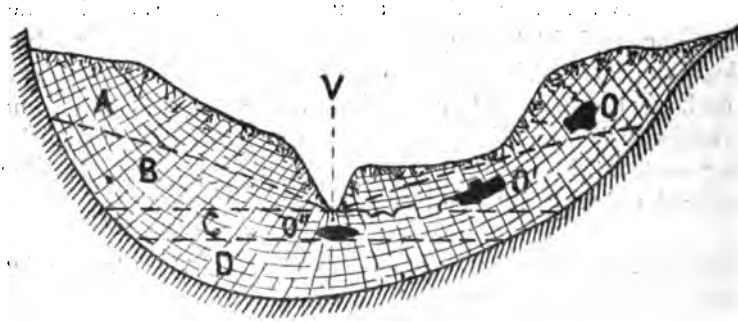


FIG. 10. — Diagramme montrant, d'après M. Verstraeten, les diverses situations des grottes et des cavernes par rapport au régime aquifère d'un bassin calcaire.

A. Zone du *régime circulatoire localisé*, montrant la fissuration des régions d'affleurement et l'existence de cavités O ou grottes, produites surtout par l'action corrosive des eaux courantes localisées. Des réserves d'eau peuvent exister localisées dans ces cavités. Certains de ces réservoirs peuvent enfin s'amorcer par *siphonnement rocheux* après relèvement du réservoir B et s'y écouler en vidant alors ces cavités aquifères.

B. Zone de *trop-plein* (*couche active* de M. Verstraeten) du réservoir CD sous-jacent pouvant contenir des cavités et des grottes *O'* noyées dans la réserve aquifère et s'aggrandissant lentement sous l'action corrosive de ces eaux courantes d'imprégnation générale.

C. Partie supérieure de D, soumise à l'action drainante des sources et des suintements d'*aval* et dont les cavités ou grottes O'' seraient creusées, d'après M. Verstraeten, par le fait de la mise en mouvement et des actions chimiques corrélatives de la tranche aquifère C.

D. Zone du *régime inférieur statique* (*zone passive* de M. Verstraeten) dont les eaux échappent à toute influence naturelle drainante et véhiculatoire.

V. Vallée drainante, avec ses sources de thalweg et de niveau inférieur, drainant le réservoir B.

Digitized by Google

d'aujourd'hui, des positions ayant permis (comme en O sur la fig. 10) la formation des *grottes* datant de ces temps anciens, ramenées ensuite, avec le massif rocheux qui les contient, à des niveaux inférieurs, grottes simplement *utilisées* aujourd'hui, par suite de cet abaissement de niveau, par les eaux courantes de déversement souterrain C. Celles-ci, bien entendu, peuvent continuer à les corroder et à les élargir, comme l'indique M. Verstraeten. Cette hypothèse, que j'émets ici parallèlement à celle de M. Verstraeten, ne l'exclut nullement; elle la complète probablement, ou la remplace, même dans beaucoup de cas; mais l'une comme l'autre semblent pouvoir se trouver confirmées par l'observation précise des faits. Il y a là un intéressant sujet d'étude à approfondir et à reprendre ultérieurement

II. — Notes complémentaires sur l'hydrologie des calcaires horizontaux de Tournai.

Tout récemment, à la séance du 29 avril 1900 de la *Société géologique de Belgique*, à Liége, M. Verstraeten, prenant part à l'intéressante discussion ouverte au sein de cette Société sur la question des eaux alimentaires, a traité de l'art de tirer parti des ressources naturelles en eau. Dans sa note, intitulée : *Filtration naturelle au point de vue de l'ingénieur*, M. Verstraeten a, cette fois, évité de parler en géologue, mais il n'a naturellement pu éviter de parler de géologie.

Au cours de généralités et d'un aperçu préliminaire plutôt classique sur le drainage en terrain plat et en terrain ondulé, l'auteur applique aux couches aquifères des terrains meubles ses nouvelles expressions, qu'il explique en caractérisant, sous les noms de parties *passives* et de parties *actives*, les divers éléments constitutifs du réservoir liquide.

Après avoir traité avec une indiscutable compétence des questions relatives au captage des sources en *terrain meuble*, l'auteur effleure à peine le sujet, si important cependant, et qui naguère lui tenait tant à cœur, de l'*hydrologie des terrains rocheux*.

Quoi qu'il en soit, pour parler des calcaires et de leur hydrologie, M. Verstraeten s'est cantonné, à la séance de Liége, dans l'examen des seuls bassins carbonifères observables au centre du bassin de Dinant; ensuite il s'est occupé du cas, peu compliqué, des calcaires horizontaux de Tournai.

Quant aux calcaires devoniens, au sujet de l'hydrologie desquels M. Verstraeten avait, pour la région de Han-Rochefort notamment, soulevé de si vives critiques, il n'en est nullement question dans ce dernier exposé de notre honorable contradicteur.

Serait-ce là une nouvelle confirmation d'un vers célèbre qui nous

Digitized by Google

apprend que si « la critique est aisée, l'art est difficile »? Quoi qu'il en soit, examinons d'abord ce que dit M. Verstraeten de l'hydrologie des calcaires de la région de Tournai.

Mais ici une surprise attend le lecteur au courant des écrits antérieurs de M. Verstraeten sur la matière, même de ceux datant d'il y a trois ans seulement.

Les détails et le schéma fournis par l'auteur forment une opposition curieuse avec ses écrits antérieurs.

La figure nouvelle de M. Verstraeten, que je reproduis ici fidèlement (voir fig. 11), montre des assises très massives et bien régulières de bancs calcaires, nullement noyés cette fois dans la prétendue nappe

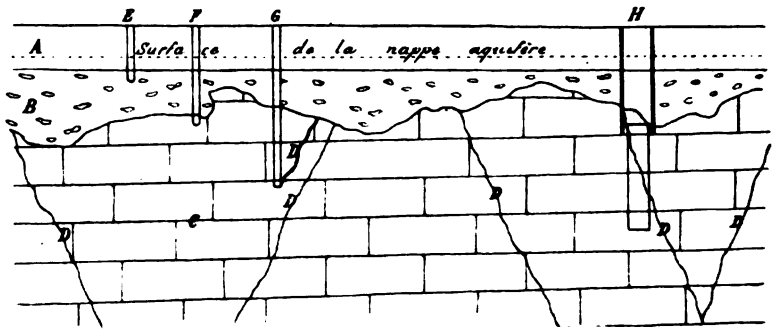


FIG. 11. — Le régime aquifère des calcaires de Tournai, d'après le dernier exposé de M. Th. Verstraeten (1900).

LÉGENDE DE LA FIGURE, D'APRÈS M. VERSTRAETEN.

A. Terrain superficiel, sableux ou argilo-sableux.
B. Formation détritique naturelle.
C. Calcaire carbonifère.
D. Fentes naturelles du calcaire.
E, F, G. Puits ordinaires, plus ou moins profonds.
H. Puits tubé, recommandable.

aquifère d'imprégnation générale (1) que nous montrait la figure de 1897 de M. Verstraeten (voir p. 410 du présent travail), et cet imposant massif, homogène et régulier, est à peine traversé obliquement par de *très rares* et *très étroites* « fentes naturelles du calcaire », que rencontrent certains des puits figurés cherchant à trouver dans le calcaire leur base d'alimentation.

(1) C'est de cette nappe générale, DONT IL N'EST PLUS QUESTION MAINTENANT, que M. Verstraeten disait, en 1897 : « Notre collègue (M. Rutot) admet un *si : l'hypothèse de* » *niveaux plus ou moins continus dans les calcaires horizontaux de Tournai*. Mais il ne » s'agit pas là *d'hypothèse*, il s'agit d'un fait : l'existence d'une *couche aquifère générale* » dans cette roche, constatée, relevée, avec sa nappe déterminée de position. »

Digitized by Google

L'examen de cette figure, sa comparaison avec le diagramme d'ensemble antérieur de M. Verstraeten (voir fig. 3, p. 410) et l'explication ici donnée pour le terme stratigraphique B, nous font reconnaître, d'accord avec le texte qui commente la nouvelle figure de M. Verstraeten, qu'il a voulu représenter ici tout spécialement la région d'alluvions voisine du thalweg de la vallée de l'Escaut, à Tournai.

Comme texte accompagnant cette figure, le procès-verbal de cette séance du 29 avril 1900, à Liége, fournit uniquement les paragraphes qui suivent plus bas. Après l'analyse que j'ai faite, pages 417 à 423, de la brochure de 1888 de M. Verstraeten, intitulée : *La question des eaux de Tournai*, et après l'étude critique que j'ai faite, pages 410-413, des vues émises en 1897 par M. Verstraeten au sujet du régime aquifère des calcaires de Tournai, ce nouveau texte, que voici, est particulièrement intéressant.

« *Formations rocheuses horizontales.* On peut prendre, comme exemple » de formations rocheuses horizontales, les calcaires des environs de » Tournai.

» D'une façon générale, on peut dire que les puits peu profonds, » creusés dans les terrains de l'espèce, donnent des eaux dangereuses ou » tout au moins suspectes; au fur et à mesure qu'ils s'approfondissent, la » qualité de l'eau s'améliore, s'ils sont bien construits; cependant, il peut » arriver, et il arrive fréquemment, qu'une fissure mette le puits en » relation directe avec les couches superficielles (1); dans ce cas, le puits » est irrémédiablement contaminé.

» Il existe un moyen très simple de mettre ces puits à l'abri des filtra- » tions superficielles ; il consiste à en rendre parfaitement étanche la » partie supérieure maçonnée, puis à enfoncer, au fond du puits ainsi » construit, un tubage métallique, ouvert seulement aux deux extrémités » et réuni à la maçonnerie par du béton (fig. 11, en H). »

Le dispositif préconisé par M. l'ingénieur Verstraeten serait excellent..., si l'on était certain que, dans la région considérée, l'extrémité inférieure du tubage métallique à enfoncer dans le massif calcaire rencontrât en profondeur la fissure aquifère cherchée, et si l'on était certain aussi d'*y trouver de l'eau* ne dérivant pas trop directement de *la zone superficielle* B, dont l'influence, avoue M. Verstraeten, « contamine irremédiablement le puits ».

Or, si quelqu'un en Belgique est à même d'apprécier sainement et pratiquement le régime aquifère des calcaires de Tournai, c'est bien notre collègue M. Duraffour, l'habile et consciencieux foreur de puits de cette région, qui a creusé la majeure partie des puits profonds existant à Tournai et aux environs.

(1) C'est le cas que représente, dans la figure 11, le puits G de la coupe figurée par M. Verstraeten.

Digitized by Google

Le dossier, détaillé et des plus intéressants, ainsi que la série d'échantillons correspondants qu'a bien voulu mettre à ma disposition M. Duraffour et qui feront l'objet, en leur temps, d'une publication spéciale, sont appuyés de *faits* et d'*éléments d'appréciation* irrécusables et des plus instructifs, desquels il résulte en toute évidence les points suivants, exprimant d'ailleurs la manière de voir de M. Duraffour sur la question du régime aquifère de la région considérée :

1° Pris dans son ensemble, le massif calcaire de la région de Tournai ne constitue nullement le réservoir initial d'alimentation des puits profonds de la région ;

2° Les principales sources aquifères alimentant les puits profonds sont constituées : *a*) dans les parties basses de la vallée, c'est-à-dire dans la ville, par l'important *cailloutis* (1) d'alluvions anciennes quaternaires qui, sous 11 à 12 mètres d'alluvions sablo-limoneuses de thalweg fluvial, sert directement de recouvrement au calcaire et dont les eaux en imprègnent irrégulièrement les joints, fentes et cassures, surtout abondantes dans les zones peu profondes; *b*) dans les flancs de la vallée et sur le plateau, par

(1) Ce cailloutis est accumulé, sur une épaisseur de 1 à 3 mètres, *à la base* des alluvions quaternaires de l'Escaut, à Tournai. Par l'important niveau aquifère qu'il contient et qui se répand dans les fissures du massif calcaire sous-jacent, il alimente la majeure partie des puits forés, à Tournai, dans le calcaire. L'existence de ce cailloutis ainsi que son rôle ont complètement échappé à M. Verstraeten!

Dans sa figure de 1887, en effet, ici reproduite page 410, figure 3, j'ai résumé la légende de l'auteur, me bornant à indiquer, en regard du dépôt n° 1 de la figure : *alluvions perméables*. Mais la légende détaillée de M. Verstraeten fournissait pour ce n° 1, qui représente l'*ensemble des alluvions de l'Escaut,* remplissant toutes les parties basses de la vallée, la documentation que voici : « Alluvions *limoneuses* et *sableuses,* perméables, pénétrant (*sic*) dans la couche aquifère générale. » Du CAILLOUTIS quaternaire, il n'est aucunement question!

Dans sa nouvelle figure de 1900, à Liége (voir ici fig. 11), M. Verstraeten fait apparaître ce dépôt et il l'appelle « une formation détritique naturelle » !? Il en représente les éléments grossiers, non pas comme des cailloux *accumulés* dans les dépressions du calcaire, à la base des 11 à 12 mètres d'alluvions sablo-limoneuses qui les recouvrent, mais répartis *sporadiquement* au sein du dépôt alluvial et disposés *épars,* comme certains silex au milieu de la craie! Alors qu'en réalité la couche A sablo-limoneuse de sa figure de 1900 devrait être représentée comme quatre ou cinq fois plus épaisse que la couche caillouteuse aquifère B, celle-ci est figurée avec une épaisseur moyenne *égale* à celle de A, soit des alluvions sablo-limoneuses recouvrant le cailloutis aquifère. Quant aux allures si *accidentées* de la surface du calcaire carbonifère sous le dépôt caillouteux fluvial B, elles seraient, je pense, assez difficiles à constater en réalité, telles surtout qu'elles sont représentées à droite du puits F. A ce point de vue également, le croquis de M. Verstraeten est quelque peu fantaisiste.

Tout ceci indique combien, dans les avatars successifs de ses hypothèses et figurés géologiques et hydrologiques du régime aquifère de la région de Tournai, M. Verstraeten est constamment resté, jusque dans ces tout derniers temps encore, bien loin de la réalité des faits.

Digitized by Google

le *cailloutis silexifère* crétacé, base des marnes turoniennes et qui draine les dépôts sableux landeniens et les dépôts fissurés marneux turoniens, recouvrant ce cailloutis des hauts niveaux au profit des fentes et des cassures du massif calcaire sous-jacent;

3° La rencontre de fissures ou de joints aquifères de quelque importance constitue, dans les parties profondes du massif calcaire de Tournai, un cas que l'on peut considérer comme EXCEPTIONNEL. Il paraît toutefois exister au nord et au nord-ouest de Tournai une zone *assez localisée en largeur*, où la roche, moins massive, plus altérée et souvent représentée par des niveaux dits « pourris », fournit un réseau circulatoire aquifère plus développé. Les eaux obtenues au forage y sont d'abord noires et sales, mais se clarifient après un pompage prolongé ayant nettoyé les canaux circulatoires souterrains;

4° Dans l'immense majorité des puits creusés dans le calcaire de Tournai (ville) et aux environs, la base d'alimentation provient soit directement des *dépôts caillouteux* recouvrants, soit des eaux de ces dépôts qui se sont infiltrées dans la partie supérieure, plus délitée, plus fissurée, du massif calcaire sous-jacent. Ces eaux ne peuvent guère convenir que pour des usages industriels.

A ceci j'ajouterai que les preuves *matérielles* de ce qui précède sont fournies, d'abord par la composition chimique et bactériologique, peu recommandable, des eaux de l'immense majorité des puits de Tournai, et par leurs variations parfois très grandes d'un puits à l'autre; variations contraires à l'existence d'un réservoir général, sorte de nappe aquifère noyant le massif calcaire. Ces preuves sont fournies encore par toute une série de faits, trop longs à détailler ici, résultant des travaux et des observations de M. Duraffour. Je citerai toutefois les chutes subites — et dont certaines avaient l'amplitude d'une dizaines de mètres — observées maintes fois par ce sondeur pendant le forage de ses puits à Tournai, notamment après qu'il avait traversé la couche caillouteuse et aquifère superficielle. Je mentionnerai aussi l'influence réciproque, au pompage, — et, en certains points, par contraste, l'absence d'influence, — de puits voisins diversement reliés par des fissures s'alimentant dans le cailloutis. Enfin, au cours de ses nombreux travaux de forage profond à Tournai, M. Duraffour, après avoir, au début d'un travail de l'espèce, noté un niveau piézométrique, qui était celui des puits de la région environnante et aussi de la nappe phréatique, n'a que *très exceptionnellement* constaté des variations et surtout des *relèvements* de ce niveau : indice que les forages en profondeur avaient surtout pour résultat, souvent voulu d'ailleurs, de creuser au sein du massif calcaire compact un utile *réservoir* recevant et emmagasinant les eaux des niveaux supérieurs.

Je pourrais aligner ici une série d'exemples pris non seulement dans la région de Tournai, mais encore ailleurs, dans le grand massif hennuyer,

Digitized by Google

de calcaires horizontaux et montrant combien M. Verstraeten s'est étrangement mépris en admettant obstinément, pendant si longtemps, l'existence, au sein de ces calcaires, d'une *vaste nappe d'imprégnation générale* en profondeur.

Certains des cas constatés par M. Duraffour sont des plus curieux. Ainsi, il y a à Leuze deux puits creusés à *trois* mètres l'un de l'autre. L'un d'eux a rencontré, au-dessus du calcaire carbonifère, une veine de gravier aquifère, ayant imprégné d'eau les fissures du calcaire sous-jacent. Ce puits n'a que 18 mètres de profondeur et fournit de l'eau en abondance. L'autre puits a été poussé jusqu'à 38m,50, soit 20 mètres plus bas dans la même roche, et est resté improductif; résultat évident de la direction des fissures aquifères et de l'imperméabilité du massif calcaire, très compact et privé de toute « nappe d'imprégnation » !

Devant les résultats, si généralement concordants, de l'expérience technique et des travaux pratiques d'un habile foreur de puits, dont les considérations ci-dessus exposées résument et synthétisent la manière de voir, ainsi que la mienne et celle de M. Rutot, M. Verstraeten voudra bien, on peut l'espérer, reconnaître qu'il n'a, malgré certain progrès dans ses idées sur la matière, pas plus correctement exposé récemment à Liége, en 1900, qu'il ne le fit naguère à Tournai en 1888, ni à Bruxelles en 1897, ni enfin à Liége en 1898 et à Gand en 1899, le régime aquifère des calcaires horizontaux.

Quant à son système actuel de préservation (fig. 11, en H) de l'influence néfaste des eaux superficielles, il ne lui sert en réalité ici qu'à reprendre en profondeur — lorsque fissure il y a — ce qu'il évite plus haut. Ce système donne assurément des chances d'épuration et de pureté plus grandes et présente souvent l'avantage d'une filtration mécanique mieux assurée, mais il n'offre nullement de garanties sérieuses de sécurité au point de vue chimique et bactériologique.

Ainsi, à 200 mètres à peine au nord de l'un des puits qu'une administration, bien mal inspirée sans doute, cherche en ce moment à utiliser à Tournai (1) pour l'alimentation de la ville en eau potable, on trouve dans les zones des alluvions de l'Escaut et à 200 mètres de distance du fleuve, un puits de malterie, profond d'une trentaine de mètres. Il se compose de deux tubes métalliques concentriques dont l'extérieur, long de 12 à 13 mètres, est engagé dans le *gravier aquifère*. Le tube central a vainement cherché une fissure aquifère dans le calcaire, et c'est l'eau du gravier qui, par *déversement* interne, passe en cascade du tube externe dans le tube interne! C'est cette eau peu recommandable du gravier qui constitue donc le réservoir aquifère dans lequel s'alimente la pompe. Tant qu'il ne s'agit

(1) *Ville de Tournai. — Distribution d'eau. — Documents publiés en exécution de la résolution du Conseil communal du 16 novembre 1900;* br. in-8°, 29 pages. Tournai, 1900, Van Gheluwe-Coomans.

Digitized by Google

que d'eaux industrielles, c'est fort bien, mais en matière d'eaux potables on voit le danger !

A la fabrique de margarine, située à 500 mètres au nord-est, de l'autre côté de l'Escaut, on est vainement descendu dans le calcaire à 40 mètres, sans pouvoir absolument rien adjoindre à la base d'alimentation, toute superficielle, de ce puits, qui trouve son eau dans les *graviers quaternaires* de l'Escaut et dans les fissures superficielles du calcaire qui s'y alimentent.

N'est-ce pas avec le même insuccès d'ailleurs que le puits de l'Asile des aliénés, décrit pages 411-412 du présent travail, *s'est enfoncé à 151 mètres dans le massif calcaire* sans y rencontrer guère d'autre eau que celle infiltrée, dans le haut du calcaire, des dépôts meubles et caillouteux recouvrants.

On le voit, l'évolution de M. Verstraeten, à laquelle d'ailleurs on ne peut qu'applaudir, est encore loin d'être suffisante pour lui permettre d'arriver à la vérité scientifique, ou même à de bons résultats pratiques. Bien que notre honorable contradicteur commence à s'apercevoir nettement de l'absence, dans les calcaires de la région considérée, des vastes nappes profondes et d'imprégnation générale, invoquées par lui il y a si peu de temps encore; bien qu'il localise maintenant aux seules parties profondes de tels massifs calcaires les eaux *saines*, — qui en réalité sont les eaux d'origine superficielles, généralement un peu mieux filtrées en profondeur, — il paraît ne s'apercevoir nullement que ce filtrage peut, sans qu'on s'en doute, laisser beaucoup à désirer (1) et, ensuite, que les fissures amenant les eaux à grande profondeur sont ou peuvent être rares ou bien très accidentelles (2), au point que le plus souvent on ne peut guère compter sur leur présence.

(1) Dans un forage exécuté dans le calcaire à Anvaing, près de Frasnes (entre Tournai et Renaix), le roc primaire a été rencontré par M. Duraffour à 40m,75. Or l'outil, à 49 mètres, a fait une chute brusque de 3 mètres, et il a été ramené, de ces profondeurs, de la roche décomposée, des fossiles détachés de leur gangue, devenue terreuse, et tous les indices d'une fissure ou cavité en calcaire « pourri », dont certes les dimensions et la garniture meuble n'étaient guère de nature à assurer une filtration sérieuse à la « rivière souterraine » rencontrée par ledit forage dans cette roche cariée.

(2) Un puits creusé à Péruwelz, par M. Duraffour, avait vainement percé le calcaire sans rencontrer d'eau, jusque 100 mètres du sol. Il allait être abandonné après cette navrante constatation d'absence totale de venue aquifère et encore plus de nappe générale d'imprégnation conforme aux vues de M. Verstraeten, lorsque le foreur, désireux de prendre à cœur les intérêts de son malheureux client, ainsi déçu, proposa une dernière tentative, qui fut exécutée dans des conditions peu onéreuses. A 103 mètres, on rencontra, par une chance inespérée, une fissure aquifère à débit abondant, qui fournit une eau *jaillissante* au sol. Le massif calcaire tout entier, ici très massif et homogène, jouait donc le rôle de *couche imperméable*, maintenant sous pression les eaux profondes localisées dans la fissure si heureusement rencontrée, grâce à l'obligeante persistance du sondeur.

Combien de tels faits d'absolue localisation en profondeur des eaux du calcaire nous éloignent des conceptions et des hypothèses de M. Verstraeten, ancienne et nouvelle manière.

Digitized by Google

III. — Le dernier exposé de M. Verstraeten au sujet de l'hydrologie des terrains calcaires rocheux en formations plissées et relatif au mode de captage de leurs eaux.

L'exposé fait par M. Th. Verstraeten à la séance du 29 avril 1900 de la Société géologique de Belgique, à Liége, exposé intitulé : *Filtration naturelle au point de vue de l'ingénieur*, et qui nous a fourni le thème des considérations qui précèdent au sujet des calcaires *horizontaux* de la région de Tournai, a aussi fourni à l'ingénieur bruxellois l'occasion de faire connaître ses vues actuelles sur le régime aquifère des *formations calcaires plissées* ou en bassins ondulés. Je reproduis ci-dessous, très fidèlement, la figure 7 du travail de M. Verstraeten, qui portera ici le n° 12.

Avant d'aborder l'examen de cette figure, je tiens à renvoyer le lecteur à la figure 1 de la page 396 du présent travail, encore reproduite comme figure 8 à la page 501, ainsi qu'à l'exposé fait, pages 396-398, des trois éléments A, B, D, soit du *régime inférieur statique*, du *trop-plein* de celui-ci et du *régime circulatoire localisé* constituant, par leur réunion, la fameuse CONCEPTION HYDROLOGIQUE NOUVELLE, dont la critique a si fortement occupé M. Verstraeten en 1897.

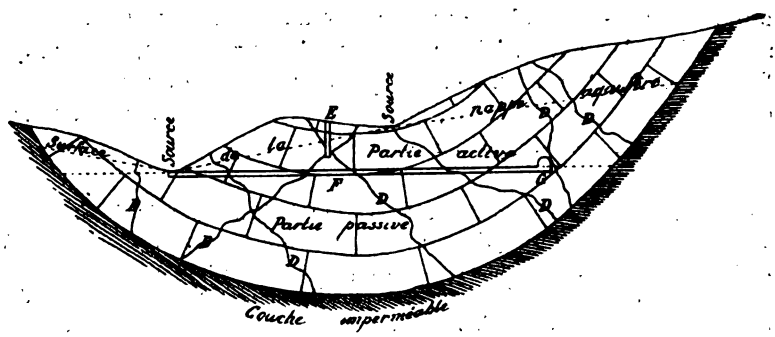


FIG. 12. — Régime aquifère d'un massif rocheux calcaire en formation plissée et mode de captage, d'après M. Verstraeten, de ses ressources aquifères (1).

LÉGENDE : D. Fentes naturelles du calcaire.
E. Puits ordinaire.
F. Conduite étanche ou simplement maçonnée à la rencontre des fentes du calcaire.
G. Galerie drainante.

(1) A noter que dans cette figure M. Verstraeten appelle *couche imperméable* le TERRAIN schisteux sous jacent au calcaire, alors qu'il appelle *couche aquifère* (de *aqua* : eau et *ferre* : porter) L'EAU du calcaire. En réalité, c'est aussi le TERRAIN *calcaire* qui est la *couche aquifère*, et de telles anomalies de terminologie sont étonnantes de la part d'un auteur qui se pique de rectifier et d'unifier les expressions employées en nature de terminologie hydrologique. (Voir aussi la note 1 de la page 498.)

Digitized by Google

Cette conception, incidemment exposée par M. Rutot et moi dans les douze lignes dont M. Verstraeten s'est si vivement ému pour les combattre avec tant d'âpreté, la voici tout simplement reprise et appliquée aux mêmes types de dépôts par notre honorable contradicteur, qui s'en approprie le fond en en débaptisant les termes !

Qui donc pourrait contester, après avoir jeté le regard en arrière que je sollicitais tout à l'heure du lecteur, et s'être ensuite reporté aux données de la figure ci-dessus, que la *partie passive* de la couche aquifère de M. Verstraeten n'est autre chose que notre zone A du *régime inférieur statique;* que sa *partie active* n'est que notre zone BB de *trop-plein* et alimentant les sources du thalweg dudit régime inférieur statique. Enfin, le diagramme nouveau de M. Verstraeten montre nettement, par le figuré très précis, au sein de notre zone supérieure DD, des canaux, fissures et débouchés d'aiguigeois constituant précisément tout l'appareil de notre *régime circulatoire localisé*, que l'heure est venue enfin où notre honorable contradicteur a compris et admis, comme parfaitement fondée sur la réalité des faits, cette *conception hydrologique nouvelle*, si malmenée par lui dans son travail critique de 1897.

Le *texte* qui accompagne cette figure, synthétisant les vues nouvelles de M. Verstraeten, est *moins éloquent;* il semble que M. Verstraeten ait voulu mettre une certaine réserve dans l'exposé de sa si louable conversion à la thèse qu'il combattait précédemment.

Ce texte ne dit mot, en effet, des si intéressants éléments nouveaux, ou qui, du moins sous des *noms nouveaux*, sont venus, à partir de 1898, comme on l'a vu antérieurement, compléter, dans le sens indiqué par M. Rutot et par moi, en 1895, le dispositif du régime aquifère des calcaires rocheux fissurés.

Après avoir fait remarquer que « c'est surtout la partie supérieure des roches qui est fissurée et par suite contaminable » et que « les sources captées à l'émergence sont presque toujours souillées »; après avoir ajouté qu'il en est de même des « petits puits », ce texte se borne à indiquer dans les dix lignes reproduites ci-dessous quel est, dans le cas de la figure 12, le dispositif à donner pour drainer souterrainement, dans une vallée rocheuse calcaire, les eaux alimentaires qu'on recherche dans le massif encaissant :

« Pour recueillir une eau pure, il faut, à partir du fond de la vallée, » percer une conduite d'amenée plus ou moins perpendiculaire à la » direction des couches, entièrement étanche, ou protégée seulement par » un revêtement imperméable à la traversée des fissures; à son extrémité, » c'est-à-dire à une distance de la surface du sol telle qu'on soit à l'abri » des infiltrations superficielles, on creusera une galerie de captage, » parallèle cette fois à la direction des couches, et on lui donnera une » longueur suffisante pour qu'elle fournisse la quantité d'eau nécessaire. »

Digitized by Google

Il est bien étrange assurément que la figure fournie par M. Verstraeten se charge elle-même de donner un *éclatant démenti* aux espérances de l'auteur du dispositif représenté. En effet, le simple examen de la figure 12 montre très nettement la possibilité, la probabilité même, d'arrivée d'eaux douteuses, ou aisément contaminables, dans la galerie drainante projetée.

Lorsqu'une galerie d'eau alimentaire se trouve, comme ici en G, creusée au sein d'un massif calcaire parcouru de fissures ayant de multiples communications avec le sol du plateau, qu'importe la distance de celui-ci à la galerie. si les fentes, soit par leur largeur, soit par l'absence de *colmatage limoneux* ou *sableux*, empêchent la filtration des eaux de surface; s'il en est parmi celles-ci qui soient ou contaminées ou seulement contaminables accidentellement, les eaux de la galerie drainante les recevront au même titre que des eaux plus pures.

C'est donc l'ensemble des *présomptions* que donne l'étude des parties accessibles (par carrières et par coupes naturelles, par puits et par forages) des fentes et des cassures, qui pourra guider, dans une certaine mesure, sur la *valeur filtrante* de ces fentes, cassures et canaux du calcaire, conduisant souterrainement les eaux. Si cet ensemble de présomptions s'accorde, d'une part avec des expériences à la fluorescéine, à la levure de bière et autres, judicieusement faites, d'autre part avec le résultat favorable de séries, longtemps poursuivies, d'analyses chimiques et bactérioscopiques consciencieuses, ALORS SEULEMENT on pourra avoir des apaisements sérieux sur la valeur, soit des sources émergeant du calcaire, soit des eaux à capter dans des galeries creusées, comme en G, au cœur du massif lui-même. C'est là un ÉLÉMENT ESSENTIEL dans la question, et dont M. Verstraeten a eu le grand tort, dans son récent exposé à Liége, de ne pas dire un mot.

Il semblerait, d'après cet exposé, qu'il suffise de rendre étanches certaines parties de la galerie d'adduction F, à venues d'eau douteuses, amenées par des crevasses trop voisines du sol, pour être, par ce procédé, très discutable en réalité, certain d'obtenir des eaux absolument recommandables. Il semble aussi que seules celles-ci pourraient alimenter la galerie drainante plus profonde G.

C'est là une profonde erreur. D'abord, les eaux de toute fissure artificiellement obstruée ou bouchée au sein des calcaires s'accumulent, puis trouvent de *nouveaux déversements* en employant des voies différentes, qui restent insoupçonnées. Ensuite, qu'importent et la longueur et l'amplitude verticale d'un canal souterrain d'amenée ou d'une fissure aquifère à eau douteuse, ou pouvant être polluée, si cette fissure n'est pas efficacement *colmatée* et devenue *filtrante* dans son parcours caché. Et comment le savoir sans expériences spéciales, toujours fort délicates?

De même qu'il existe parfois dans les massifs rocheux calcaires depuis longtemps restés continentaux, comme les nôtres en Belgique, des fentes

Digitized by Google

et des canaux circulatoires disposés ou bien *garnis* de manière à ce que les eaux qui y circulent subissent un filtrage sérieux et prolongé, de même aussi il en est d'autres — et dans la plupart des régions calcaires ils paraissent être les plus nombreux — où l'eau circule rapidement, sans épuration, sans rencontre d'aucun élément de filtrage et où, par conséquent, elle peut garder, sur des étendues souterraines considérables, ses troubles (1) et ses propriétés peu hygiéniques, ou même nocives.

Reportons-nous maintenant à la figure fournie par M. Verstraeten. Examinons avec soin certaines des « fentes naturelles du calcaire », celles qui, dans la figure 12, sont marquées D, et occupons-nous notamment de la *deuxième* d'entre elles, vers la droite du dessin susdit, fissure qui débouche supérieurement au sol du plateau, et cela peut-être sous la forme très normale d'un bel *aiguigeois*. Or, cette crevasse du calcaire vient précisément déboucher aussi dans les parois de la galerie drainante représentée en G.

Qui donc pourrait nous garantir que, soit par son débouché direct au sol du plateau, soit par ceux des autres fentes du sommet du massif, avec lesquelles communique, par les joints du calcaire, la fente considérée, celle-ci ne sert pas tout simplement d'*égout collecteur*, ne fût ce qu'en temps d'orage ou de pluies torrentielles et à forts ruissellements, ou bien encore, en temps de fonte des neiges, aux eaux troublées, louches ou *pouvant devenir* contaminées, qui proviennent du plateau plus ou moins habité, surmontant le massif calcaire représenté?

Supposons même qu'au moment de l'étude et du creusement de la galerie G, celles des eaux du massif calcaire déversées en G par la *deuxième crevasse de droite* aient été soigneusement examinées. Admettons qu'on ait fait appel alors à l'analyse tant chimique que bactérioscopique, bien qu'il ne soit guère d'usage, en des travaux de l'espèce, de se livrer à une enquête détaillée de ce genre, pourtant si recommandable lorsqu'elle est suffisamment prolongée.

Admettons que le résultat de cet examen ait fourni la notion d'eaux saines et pouvant être englobées dans le produit de la galerie G.

Mais est-ce là une raison — en présence du dispositif structural particulier au calcaire — pour qu'il en soit encore de même après huit jours de fonctionnement normal et complet de la galerie, abandonnée à elle-même? En sera-t-il de même après quelques mois, ou quelques années plus tard, lorsque l'influence, par exemple de périodes climatériques et pluviométriques *différentes*, aura apporté des modifications dans le volume, dans le niveau et dans la circulation des eaux du réseau aquifère actif des fissures?

Sans attendre aussi longtemps, l'influence d'orages violents et de ruis-

(1) Voir la note 2 de la page 439. (Voir aussi le texte du Dr Raymond, p. 526.)

Digitized by Google

sellements intenses sur la surface du plateau et sur le réseau aquifère d'absorption ne pourra-t-elle suffire pour modifier parfois *profondément* les QUALITÉS de l'eau amenée en G par la fissure considérée?

Qui donc, possédant quelque compétence en la matière, oserait affirmer la *constance* des qualités et de la valeur hygiénique des eaux ainsi déversées dans la galerie drainante?

Certes, tant que les eaux de ruissellement superficiel et d'absorption calcaire localisée du plateau resteront à l'abri de causes de pollution ou de contamination, les eaux souterraines correspondantes des diverses fentes et crevasses D resteront — celles se déversant en G comme les autres — saines et utilisables. Mais que, par exemple, les eaux ménagères ou résiduaires d'habitations de paysans infectés de maladies contagieuses, de fièvre typhoïde, etc., viennent quelque beau jour à pénétrer dans l'extrémité absorbante supérieure de notre deuxième fissure ou de quelque autre, voisine, communicante..., on voit le résultat! sans que d'autres que le *géologue* se doutent peut-être jamais *comment* et *pourquoi* se sera si déplorablement modifié l'état de choses favorable antérieurement constaté. Quant à l'agglomération tirant son eau alimentaire de la galerie G, elle pourra avoir à redouter les plus meurtrières épidémies, sans que rien puisse faire prévoir l'imminence du danger.

Que l'on mette à nu, par exemple, en le débarrassant de son manteau filtrant protecteur, sableux ou limoneux, un modeste petit espace rocheux du plateau aboutissant à une des fentes D de la figure 12 de M. Verstraeten, et que ce travail, s'opérant *plusieurs années après un bon fonctionnement régulier de la galerie d'eau alimentaire* G, serve à déblayer le terrain nécessaire à la construction d'une habitation rurale, avec *fosses d'aisances* et *trous à purin*. La résultante assurée est que les liquides résiduaires de ces dépendances vont pouvoir s'infiltrer dans les crevasses sous-jacentes, débarrassées de leur manteau protecteur. Que deviendra alors la sécurité des bases d'alimentation de la galerie G (1)?

Si l'extrémité supérieure de l'une ou l'autre des fissures en communi-

(1) Il s'est passé, il y a quelques années déjà, dans un hôtel important d'une localité belge, un fait auquel il faut espérer qu'il aura été apporté remède depuis.

Dans cet hôtel, bâti sur un mamelon calcaire fissuré, qui domine la rivière voisine et sur le flanc duquel s'étagent les maisons d'une petite ville, on travaillait à l'établissement de nouveaux water-closets. En voulant construire des égouts, ou plutôt la conduite de décharge de cette installation, on a mis à nu la roche, précisément en un point où une fissure béante s'ouvrait sous le pic des maçons. Sans hésiter, le propriétaire de l'hôtel a fait arrêter les frais et a utilisé la fissure du calcaire pour l'usage que l'on comprend. Où vont ces matières? Peut-être à la rivière, mais peut-être aussi se délaient-elles dans les eaux courantes souterraines du massif calcaire et vont elles influencer l'une ou l'autre source en contre-bas dont les eaux cristallines sont bues avec délices par les touristes ou par les gens du pays qui ne jugent d'une eau que par les caractères trompeurs de sa fraîcheur et de sa limpidité apparentes.

Digitized by Google

cation avec celle-ci et servant à son alimentation est en relation avec le sol calcaire du plateau, soit par un *aiguigeois*, soit par un *trou perdu*, dispositifs qui si souvent ne sont que les orifices élargis et béants de crevasses profondes, telles que les fentes D de la figure de M. Verstracten, et si ces cavités renferment les cadavres en putréfaction d'animaux qui y sont tombés ou qu'on y a jetés (1), on comprend combien les eaux provenant de ces fissures doivent inspirer de méfiance.

Tout l'exposé qui précède des dangers et des inconvénients d'une base d'alimentation acceptée sans étude géologique préalable, très minutieuse, dans les calcaires plissés et fissurés, devient bien plus frappant encore, lorsque, au lieu de chercher à s'en rendre compte à l'aide des données de la figure 12 de M. Verstraeten, on reporte tout le raisonnement qui précède aux données plus détaillées de la figure 9 (p. 502). Tous les cas qui viennent d'être énumérés s'y trouvent schématiquement représentés.

Tout cela est d'ailleurs bien connu, et les travaux de M. *E.-A. Martel*, notamment, ont fourni de frappants exemples du déplorable état de choses et des responsabilités qui découlent de cette insouciance, jusqu'ici trop généralement professée dans les campagnes, en ce qui concerne le dangereux dispositif des bétoires et des trous perdus du calcaire, trop souvent utilisé comme *charnière*. L'autorité supérieure a fini par s'en émouvoir chez nos voisins, et dans le Rapport de la Commission française dont il a été question et qui accompagne et commente le nouveau *projet de loi* consacré aux questions de drainage d'eaux alimentaires et de distribution d'eau, il a été énoncé notamment un projet d'article spécial dont les deux premiers paragraphes sont ainsi conçus :

ARTICLE 7. *L'abandon de cadavres d'animaux, de débris de boucherie, fumier, matières fécales et en général de résidus d'animaux putrescibles dans les failles, gouffres, bétoires ou excavations de toute nature autres que les*

(1) J'ai eu l'occasion, il y a quelques années, de faire retirer de l'embouchure du chantoir de Trou-le-Coq, à Hodechamps, dans la vallée sèche du nord de Remouchamps, le cadavre, en pleine décomposition, d'un énorme chien de chasse, dont la charogne infecte empestait l'air et se baignait dans le poétique ruisseau s'engouffrant dans le chantoir, pour reparaître plus bas sous forme d'une abondante source.

Je connais maints et maints orifices dans le calcaire où des chiens se sont jetés étourdiment à la poursuite du gibier en fuite et d'où ils n'ont jamais reparu. Or que de prétendues sources dans les régions calcaires ne sont que des émergences de ruisseaux souterrains où se sont noyés les animaux égarés au sein des couloirs et canaux de massifs calcaires. Je suis à même, dans telle localité voisine de l'Amblève, de colorer, par de la fluorescéine versée à plusieurs kilomètres de distance dans une partie du ruisseau, *la fontaine publique* à laquelle s'alimente un gros hameau. Si au lieu d'une substance inoffensive et révélatrice c'étaient des principes dangereux et infectieux qu'un accident, qu'un cadavre d'animal égaré ou sauvage amèneraient à polluer le lieu de disparition du cours d'eau, ici situé en plein bois, on voit d'ici l'influence que tel fait aurait sur la santé publique.

Digitized by Google

fosses nécessaires au fonctionnement d'établissements classés, est interdit sous les peines prévues par les articles 479 et 480 du Code pénal.

Les sources, puits, puisards, puits absorbants, bétoires, gouffres, failles et abreuvoirs susceptibles de contaminer les eaux potables sont assimilés aux mares insalubres visées par les articles 22 et 23 de la loi du 21 juin 1898.

La Commission française, pour justifier cet article nouveau, non compris dans le projet de 1891, rappelle que, bien que la loi récente du 21 juin 1898 donne aux maires les moyens de faire supprimer certains éléments nuisibles à la santé publique en matière d'influence sur les eaux alimentaires, c'étaient seules les *mares insalubres* qui se trouvaient visées par cette loi. Comme il est *reconnu* maintenant que les puisards et les bétoires peuvent avoir une influence défavorable non moins grande, la Commission a voulu, par l'adjonction de cet article 7, armer les maires contre cette cause possible de pollution des nappes d'eau alimentaire. Il faut espérer que cette loi si utile sera adoptée par les Chambres françaises lorsqu'elles auront à discuter la nouvelle législation sur les sources et sur les travaux de drainage d'eaux alimentaires.

Il est à remarquer que, dans le même ordre d'idées, le nouveau projet de loi élaboré par la Commission française comprend un autre article (art. 6) assimilant aux sources, pour l'application de certains articles (1), les *puits* et les *galeries* fournissant de l'eau potable empruntée à une nappe souterraine.

Cette digression nous a entraîné assez loin en apparence de la galerie G préconisée par M. Verstraeten (fig. 12) pour drainer les eaux souterraines d'un massif calcaire à couche pliée ou ondulée formant bassin.

Nous avons exposé avec quelle facilité les eaux d'une telle galerie pouvaient *éventuellement* se contaminer par l'action de ces dispositifs de communication et d'ouverture au sol que vient de viser si justement la Commission française, éclairée sans doute par les études de M. Martel.

La mise en relief ici de ces graves conséquences eût été quelque peu puérile si, pour les exposer, je m'étais uniquement basé sur la démonstration inconsciente que M. Verstraeten a fournie, par son propre dessin (fig. 12), du bien fondé de mes vues.

Mais il est aisé de comprendre, surtout après que l'on aura examiné attentivement la figure 9 de la page 503, que tout ceci ne repose nullement sur la curieuse coïncidence fournie par le diagramme de mon honorable contradicteur. Le cas qu'il a graphiquement, sans le vouloir, si bien mis

(1) Notamment en ce qui concerne le droit à l'usage, le droit d'acquisition et surtout la détermination d'un périmètre de protection, l'interdiction de polluer les terrains compris dans ce périmètre et d'y introduire aucune matière fécale. De même en ce qui concerne l'interdiction de pratiquer des excavations sans autorisation spéciale, etc.

Digitized by Google

en relief, sans paraître en comprendre la portée, ne peut manquer de se représenter *maintes fois*, dans les mêmes conditions, *tout le long du parcours* de sa galerie drainante G, et c'est là le véritable danger.

Dans certaines régions localisées où le calcaire est recouvert d'un *manteau filtrant* sableux ou limoneux (voir en *m'* sur le plateau de gauche, dans la fig. 9, p. 503), ou bien dans divers de nos massifs rocheux à crevasses, joints et canaux *bien colmatés* et ainsi munis intérieurement de *filtres adventifs sableux et limoneux*, ce type de roches peut parfaitement fournir des eaux, sinon très recommandables en principe, du moins parfois *admissibles*, avec certaines réserves et précautions spéciales pour l'alimentation publique.

C'est la détermination de ces cas favorables qu'ont à résoudre, après expérimentation *prolongée*, et *précédée* d'une étude géologique approfondie, faite par un spécialiste, les chimistes et les bactériologistes venant, avec le géologue, en aide à l'ingénieur-hydrologue.

C'est, d'ailleurs, grâce à des bases favorables ainsi établies, que j'ai pu naguère défendre en conscience les eaux des belles sources du parc de Modave, dans la région calcaire de la vallée du Hoyoux (1).

C'est sans doute aussi le cas d'autres eaux du calcaire, actuellement employées pour l'alimentation publique, tant en Belgique qu'en France et ailleurs. Mais c'est plutôt *le rejet* de ces eaux du calcaire qui paraît devoir rester *la règle générale*, quoique nullement absolue à mon avis, et il est assurément INADMISSIBLE de déclarer, sans le contrôle et la confirmation fournis par une *étude scientifique, préalable* et *approfondie*, qu'il suffit d'établir, sans plus de préambule ni d'études, au sein de massifs calcaires, un dispositif de drainage souterrain, tel que le recommande et le figure ici M. Verstraeten, ajoutant *sans plus* : « tels sont les PRINCIPES qui doivent servir de guide dans les travaux de captage des eaux alimentaires ».

Ce n'est certes pas en se bornant à l'application de tels « *principes* » que les agglomérations intéressées auront des garanties de bonne exécution et la sécurité si nécessaire pour l'avenir.

La persistance et même la prolifération des microbes, pathogènes ou non, qui, amenés par les eaux d'engouffrement ou de ruissellement des plateaux supérieurs, se retrouvent dans les eaux courantes souterraines circulant dans les canaux et dans certaines fissures des massifs calcaires de grande épaisseur et qui arrivent ainsi aux sources, n'est nullement une hypothèse ou une supposition.

C'est *un fait* qui a été scientifiquement constaté à maintes reprises, et afin d'en fournir ici un exemple dont le détail soit vérifiable dans des textes aisément accessibles à tout le monde, je me bornerai à rappeler

(1) *Loc. cit.* (Voir la note 1 de la page 440.)

Digitized by Google

les résultats exposés par M. le Dr *Paul Raymond* dans le n° 1185 (du 15 février 1896, pp. 171-172) du journal *La Nature*, dans un article intitulé : *La rivière souterraine de Mindroï.*

Il s'agit ici de grottes creusées dans le calcaire de la région des Causses en Ardèche et qui servent de canal à une véritable rivière souterraine, affluent intermittent de l'Ardèche. En temps ordinaire, l'écoulement s'opère par un déversement adventif, constitué par la belle source de Rochebrune, débitant 220,000 litres par vingt-quatre heures. Sur un parcours d'environ 500 mètres reconnus de ce cours d'eau souterrain, la descente, très rapide et entrecoupée de lacs, de paliers et de *gours* (bassins d'eau tranquille à murailles festonnées purement stalagmitiques) est d'environ 48 mètres.

La cavité que suit la rivière souterraine de Mindroï n'est en réalité qu'une vaste diaclase, une grande fissure, par laquelle s'écoulent, dit M. le Dr Raymond, « les eaux drainées sur le plateau par les avens, les orifices, les cavités de tout genre, qui font de la masse des Causses une véritable éponge ».

Des échantillons d'eau ont été recueillis par l'explorateur dans la rivière souterraine, dans les lacs, dans les gours isolés du courant, dans les suintements des cavités et, enfin, à l'extrémité des stalagmites. Ces échantillons ont servi à ensemencer des tubes de gélose préparés en vue de recherches microbiologiques, et ces prélèvements ont été effectués avec toutes les précautions requises en la matière.

Or, voici ce que dit (p. 172 du recueil précité) l'auteur des résultats de son expérience (1) :

D'une façon générale, les tubes à culture dans lesquels on a ensemencé de l'eau provenant de la voûte suintante, des stalactites, des *gours* dans lesquels l'eau n'a pas été remuée depuis longtemps, restent stériles, c'est-à-dire que les eaux ne renferment pas de microbes. Mais si l'on examine une goutte d'eau provenant des évents ou de ces belles sources qui s'échappent des fissures du rocher, ou encore des gours ou lacs de ces rivières souterraines dans lesquelles les microbes n'ont pu se déposer, des colonies microbiennes se développent : le filtre calcaire n'est plus suffisant et s'il arrête les grosses impuretés des eaux tombées sur le plateau, il laisse passer les infiniment petits que sont ces microbes. C'est qu'en effet, et bien que l'*épaisseur de la masse calcaire soit souvent supérieure à 250 mètres*, le filtre n'est pas homogène; il est fissuré, et par ces failles, par ces diaclases dans lesquelles la circulation est pourtant assez lente pour que l'eau, *entrée boueuse sur le plateau, ressorte à la source d'une pureté admirable*, LES MICROBES CONTINUENT A CHEMINER.

A la vérité, les microbes que j'ai rencontrés ne sont pas pathogènes; mais on comprend toute l'importance de ces recherches : si des microbes banaux entraînés par les eaux tombées sur le plateau peuvent être retrouvés à 250 mètres au-dessous de lui, rien n'empêche que des microbes nocifs, le microbe de la fièvre typhoïde, par

(1) Je me suis borné à souligner sans commentaires trois passages de ce texte, sur lesquels j'attire plus particulièrement l'attention.

Digitized by Google

exemple, celui de la diphtérie, celui du choléra, qui vivent dans les eaux, ne puissent aussi s'y rencontrer. Il y avait là tout un intéressant problème d'hygiène et de prophylaxie publique à étudier. *Méfions-nous donc de ces belles sources cristallisées, si sur le plateau d'où elles proviennent il y a eu des épidémies.* Elles peuvent renfermer des micro-organismes, les uns indifférents, les autres dangereux.

L'auteur donne ensuite quelques détails techniques sur les microbes qu'il a trouvés et qui, dès la vingtième heure, avaient, dans ses tubes de gélose, fourni des colonies microbiennes du genre MICROCOQUE : (*M. aurantiacus*, *M. citreus* et *M. aquatilis*).

Les expériences bactéridiennes si intéressantes, faites à l'aide de l'inoffensive levure de bière dans les calcaires crayeux fissurés du bassin de Paris, lors des dernières études entreprises au sujet du captage des sources de l'Avre et de la Vanne, ont montré à l'évidence, de leur côté, avec quelle facilité se fait, à d'énormes distances et épaisseurs de massifs calcaires fissurés, la véhiculation et la prolifération souterraines des micro-organismes accompagnant les eaux d'engouffrement ou d'infiltration dans les terrains calcaires.

Si après ces constatations, on veut bien se reporter aux figures 11 et 12, reproduites d'après les tracés de M. Verstraeten, ainsi qu'à notre figure schématique 9, de la page 503, et si l'on veut bien tenir compte de ce qu'au lieu de plateaux, *généralement déserts* et *inhabités* comme ceux des Causses, nos plateaux calcaires à nous, dont les figures 9 et 12 rappellent les allures et dispositions, sont au contraire assez souvent *parsemés d'habitations*, on sera pleinement édifié sur la *valeur de la thèse* de notre honorable contradicteur et sur le *degré de sécurité* qu'offre son système d'établissement de galeries drainantes, de puits ou de captage de sources en terrains calcaires, non précédé des études et des éclaircissements préalables de l'enquête scientifique et surtout *géologique*, confiée à des spécialistes ou à des professionnels compétents.

Digitized by Google

CONCLUSIONS.

Exposé détaillé des éléments d'un programme d'études scientifiques préalables à la mise sur pied technique d'un projet de drainage ou de captation d'eaux alimentaires, spécialement dans un massif rocheux calcaire plissé et redressé.

Comme résultante de l'ensemble des considérations qui précèdent, spécialement dans les trois parties de la présente *Note additionnelle* n° 3, il nous sera permis de regretter que M. Verstraeten, dans l'exposé qu'il a fait des « principes qui doivent servir de guide dans les travaux de captage des eaux alimentaires », se soit simplement borné, en ce qui concerne les travaux de drainage alimentaire *en formations calcaires*, à n'indiquer que les conditions matérielles, bien connues, d'établissement de divers dispositifs (puits tubés concentriques, à manchon isolateur; galeries drainantes, etc.) permettant d'*obtenir de l'eau*, mais ne donnant aucune garantie, aucune sécurité au sujet de la *valeur de cette eau*, ni en ce qui concerne la *persistance* de ses bonnes qualités alimentaires.

C'est la conséquence naturelle de sa manière toute spéciale d'envisager le régime aquifère des calcaires, qu'il traite comme s'il s'agissait tout simplement de nappes d'imprégnation générale en dépôts meubles, où l'eau, une fois obtenue et convenablement captée ou drainée, reste indéfiniment de même composition, d'élaboration uniforme et de qualité alimentaire non variable.

On a vu tantôt, pour ce qui concerne les *calcaires rocheux horizontaux* du type de la région de Tournai, combien sont peu justifiés et inefficaces en l'occurrence les dispositifs de puits tubés concentriques, avec anneaux bétonnés séparatifs, isolant prétenduement les eaux de surface. Le dispositif préconisé par M. Verstraeten se bornera, dans des cas analogues à celui de Tournai, — et ils sont fréquents, — à reprendre *par-dessous* ces eaux de surface, un peu moins contaminées peut-être par suite de leur circulation plus ou moins prolongée dans certaines des crevasses du calcaire où plonge son tube central inférieur.

On vient de voir aussi, pour le cas des *calcaires en bassins*, ondulés ou repliés en synclinaux, quels peuvent être, beaucoup trop facilement, les inconvénients de galeries creusées sans tenir compte des données géologiques souterraines locales, et sans l'adjonction des dispositifs

Digitized by Google

spéciaux et raisonnés de protection efficace, que peut seule faire déterminer l'*enquête scientifique préalable et approfondie*, dont le GÉOLOGUE principalement est appelé à formuler le programme rationnel.

Après cette double démonstration, fournie par deux des principaux cas rencontrés dans les calcaires rocheux et dans leur régime aquifère, il ne paraîtra pas inopportun de remplacer les conseils donnés par M. Verstraeten par les indications tout autres, ci-dessous exposées.

Beaucoup de lecteurs penseront sans doute, avec mes amis et moi, que celles-ci donneront beaucoup plus de chances de succès que le système proposé par M. Verstraeten, non seulement pour « trouver une eau pure », mais surtout pour assurer, dans l'avenir, la *constance* de ses bonnes qualités alimentaires.

Il doit rester bien entendu que j'ai toujours en vue ici le cas *le plus compliqué, le plus scabreux :* celui du drainage d'eaux alimentaires *en terrains rocheux calcaires plissés et redressés*, tels, en un mot, que les massifs disloqués et à allures variables et irrégulières de nos calcaires devoniens et carbonifères.

Je me place aussi dans l'hypothèse que les intérêts des populations en jeu soient assez importants, par le chiffre même de ces populations, pour justifier un travail bien conditionné et que ne viennent pas restreindre fâcheusement des préoccupations d'économies *mal entendues* et préjudiciables au but hygiénique et sanitaire poursuivi.

Plutôt que de reculer devant les frais et les nécessités d'études que réclame une *sécurité réelle*, il vaut mieux, en cas de projet d'alimentation dans les calcaires ne pouvant s'appuyer sur une étude scientifique sérieuse, adopter la thèse un peu absolue de M. Éd. Dupont et *rejeter* systématiquement, pour l'alimentation publique, l'eau des calcaires rocheux, plissés et disloqués.

La marche rationnelle à suivre, comme développement de mon programme de 1890, et qui se trouve être d'accord (1) avec les lignes directrices qui viennent d'être adoptées par les pouvoirs publics en France, consiste à faire *ouvrir* l'instruction du projet d'eaux alimentaires par **une étude géologique détaillée**. Celle-ci, pour bien faire, doit être confiée à un *géologue*, et plus spécialement, en l'occurrence, à un spécialiste familiarisé avec les allures et avec les caractères très spéciaux des terrains calcaires rocheux fissurés et avec leur hydrologie.

(1) Sauf, bien entendu, avec les conclusions émises par M. Babinet dans son *Annexe* relative à l'utilisation des sources dites « vauclusiennes ».

Digitized by Google

Ce spécialiste doit avoir conscience de sa lourde responsabilité et de l'importance de sa tâche, qui n'est pas seulement purement géologique, mais qui doit, dans le cas présent, englober ce que j'appellerai l'*hydrologie dynamique* de la région considérée. Sous ce nom, on doit comprendre l'ensemble des phénomènes constituant *le cycle complet circulatoire souterrain* des eaux courantes du massif calcaire à drainer.

Le géologue apte à se rendre compte des allures et des inflexions souterraines des couches, des accidents de tectonique et de faillage de leurs diverses masses, des variations et des localisations d'éléments lithologiques des multiples bancs de la formation calcaire considérée, sera seul à même d'apprécier sainement l'influence de ces conditions variables et différentes. Seul aussi, il pourra prévoir, du moins avec de grandes chances de probabilités, les étroites relations existant entre ces divers facteurs géologiques et les phénomènes de la circulation ou de la localisation souterraine aquifère. Cette partie spéciale des études à entreprendre, à laquelle j'applique ici le nom d'*hydrologie dynamique*, est donc bien plus du ressort du géologue que de celui de l'ingénieur ou du technicien, proposant ou établissant les dispositifs de captage. Aussi est-ce pour ce motif que, dans mon programme de 1890, j'ai tenu à englober, *dans l'enquête géologique préalable* réservée au spécialiste devant commencer l'enquête scientifique, une part dans l'étude du régime hydrologique de la région.

Aujourd'hui, et spécialement pour le cas du type considéré de roche calcaire aquifère, je précise encore mieux ma pensée en abandonnant à l'ingénieur le soin de traiter spécialement, au cours de cette phase *préliminaire scientifique*, le côté *statistique* des questions d'hydrologie, comprenant les opérations de jaugeages, de nivellement, etc., et, dans une certaine mesure, l'étude, qui cependant ne peut rester étrangère au géologue, des éléments climatologiques, météorologiques et pluviométriques de la région soumise à l'étude.

Même, dans le cas désirable d'une étroite collaboration entre le géologue et l'ingénieur, le premier aura à s'occuper spécialement de l'*hydrologie dynamique*, n'abandonnant au second que l'étude des questions d'*hydrologie statistique*.

Il va sans dire que le géologue, non moins que l'ingénieur, doit s'astreindre à faire ses études et à poursuivre son enquête *sur place* et nullement d'après des cartes ou d'après des documents et échantillons, si détaillés qu'ils soient, commentés et interprétés *à distance*.

Un précieux auxiliaire des ces études géologico-hydrologiques est fourni, il est à peine besoin de le dire, par la série, bien connue et

Digitized by Google

toujours si instructive, des expériences à la fluorescéine et par celles, plus précieuses encore, au point de vue bactériologique, faites à l'aide de la *levure de bière*.

En ce qui concerne *les conclusions à tirer du débit des sources* et de leurs minima et maxima, de leurs variations périodiques ou accidentelles, le géologue devra bien se garder de tomber dans l'erreur où s'obstine si fâcheusement M. Verstraeten et qui consiste à vouloir établir, entre ces débits et l'élément combiné des chutes pluviales et des superficies des bassins hydrographiques apparents, les mêmes relations, définies et intimes, que celles qui sont admises pour les bassins à dépôts meubles et homogènes.

Il devra donc éviter soigneusement l'application, au régime aquifère des calcaires rocheux, plissés et redressés, de la méthode, ici illusoire, des *rendements* à l'*hectare-jour*. Bref, il devra s'inspirer des multiples applications du principe de la *différenciation des régimes aquifères* et de leur corrélation intime avec les données de la GÉOLOGIE.

Ce complexe, étroitement uni, d'observations *géologiques* et d'*hydrologie dynamique* doit être repris et continué à diverses époques saisonnières bien distinctes de l'année. Le géologue peut, toutefois, dans bien des cas, se borner à en fournir le programme motivé et à en faire assurer la bonne exécution, voire même le contrôle. Il est indispensable, on le comprend, qu'il puisse se rendre compte, de même que les intéressés et que l'ingénieur, auteur du projet, des influences qu'apportent, au régime aquifère des terrains calcaires fissurés, les différences d'actions climatériques d'hiver et d'été, parfois si considérables dans ces massifs fissurés.

C'est d'ailleurs sur ces bases et par analogie, quand manquent les statistiques antérieures précises, que l'on parvient à évaluer, dans une certaine mesure, lorsque le temps d'étude paraît devoir manquer ultérieurement, la valeur absolue des *termes extrêmes* de débit, ainsi que les variations éventuelles de qualité et de composition des eaux. Celles-ci ne peuvent manquer d'être influencées par les *minima* et par les *maxima* qu'amènent les grandes oscillations des périodes prolongées d'années sèches ou d'années humides *consécutives*.

Au cours de toute la période d'étude, comme plus tard pendant la période d'exécution des travaux, il y aura un précieux intérêt à noter avec soin toutes constatations faites à des moments soit de grande aridité et sécheresse, soit, au contraire, à la suite d'abondantes et brusques précipitations atmosphériques, ou encore de rapides fontes de neige. Ces deux dernières circonstances devront aussi engager le

Digitized by Google

géologue, même après la terminaison de ses études préalables, à ne pas reculer devant de nouveaux déplacements et à aborder de nouvelles études complémentaires sur place.

Souvent, en effet, de telles circonstances renseignent l'observateur attentif sur l'existence d'un appareil adventif absorbant ou circulatoire complémentaire, non décelable en temps ordinaire, et constituant un très suspect appoint temporaire au réseau normal. Les eaux d'une distribution risquent d'être ainsi contaminées, ou tout au moins troublées, par de telles venues d'eaux, plus ou moins accidentelles ou périodiques, dont il n'avait pu être tenu compte antérieurement, lors des études préalables.

On comprend que le *relevé soigneux* de ces bétoires, aiguigeois ou crevasses n'apparaissant, ne se désobstruant et ne fonctionnant qu'aux époques irrégulières et de courte durée DES GRANDS RUISSELLEMENTS ACCIDENTELS, doit apporter *un élément de précision et de sécurité des plus recommandables* dans l'ensemble des travaux préventifs à exécuter, ainsi que dans l'établissement rationnel des *périmètres de protection* à établir pour la sauvegarde du drainage des sources et des galeries utilisées comme venues d'eaux alimentaires.

Supposons maintenant convenablement élucidés, après exécution des études géologiques, sur le détail desquelles j'aurai encore à revenir plus loin, et après l'application de ce qui précède, les divers problèmes de géologie et d'hydrologie dynamique régionales que le géologue aura assumé la difficile mission de résoudre. Admettons que les résultats s'en soient montrés favorables.

C'est à ce moment d'élaboration du travail qu'il conviendra de compléter celui-ci et de faire la vérification des résultats géologiques par la voie des analyses chimiques et bactérioscopiques, lesquelles doivent être confiées à des spécialistes éprouvés et au courant des plus récentes méthodes (1).

Les recherches de l'analyste peuvent d'ailleurs, lorsqu'on ne vise pas à l'économie, avoir utilement accompagné, *dès le début*, les travaux du géologue, s'entendant à cet effet avec le chimiste et avec le

(1) Une source de documentation précieuse fournissant, sur les divers procédés scientifiques les plus récents, des détails et des données extrêmement utiles à consulter, se trouve dans le Rapport publié à Paris, en 1901, et intitulé : *Travaux des années 1899-1900 sur les eaux de l'Avre et de la Vanne, de la Commission scientifique de perfectionnement de l'Observatoire municipal de Montsouris*. Rapport général de M. Duclaux. PROCÈS-VERBAUX DE LA COMMISSION. Rapports annexes. Paris, 1901, in-4°, 396 pages et de très nombreuses planches, plans, coupes, diagrammes, cartes, etc.

Digitized by Google

bactériologiste; elles doivent, en tous cas, être poursuivies à travers une série, *aussi prolongée que possible*, d'influences climatériques diverses et de conditions saisonnières différentes, même pendant plusieurs années, si c'est possible.

Non seulement il est indispensable de soumettre à ce contrôle *les diverses sources* de la région considérée qui, quoique voisines, peuvent parfois être très différentes comme qualité et comme degré d'élaboration souterraine de leurs eaux, mais il faut encore analyser de même toutes les eaux accessibles du réseau de circulation souterraine et à ciel ouvert que fournit la contrée. Les engouffrements et réapparitions de cours d'eau, les déversements et les venues d'eaux de carrière avec leurs fluctuations de niveau et de débit, les puits, les galeries d'exploitations minérales, les grottes elles-mêmes avec leurs cours d'eau souterrains fourniront, non moins que les *sources* du calcaire et les suintements quelconques du massif étudié, de précieux éléments d'investigation et d'appréciation, dans lesquels le concours, ou tout au moins les conseils et indications du *géologue*, continueront à rester une précieuse base conductrice.

Dans cette phase spéciale d'études chimiques et bactérioscopiques, un complément de recherches et d'expériences à l'aide de la fluorescéine et de la levure de bière pourra encore rendre de grands services, d'autant plus que l'on pourra y adjoindre l'application des belles recherches récentes de M. *Marboutin*, chef-adjoint du Service chimique de l'Observatoire municipal de Montsouris, qui, dans ses études du mouvement de propagation et de vitesse d'écoulement des eaux imprégnant *un réservoir crayeux*, c'est-à-dire dans des conditions peu favorables, est parvenu à déceler la translation souterraine, à grande distance, d'eaux imprégnées de fluorescéine diluée au *dix-milliardième !* (1). Appliquant ce système d'observation et l'emploi du *fluoroscope Marboutin* (2) (modification de celui de M. Trillat) à l'étude des sources et des suintements des eaux du calcaire, on est

(1) F. Marboutin, *Contribution à l'étude des eaux souterraines. Courbes isochronochromatiques.* C. R. Acad. Sciences de Paris, t. CXXXII, 1901. Séance du 11 février 1901.

Idem, *Une nouvelle méthode d'étude des sources.* Procès-Verbaux des séances de la Société des Ingénieurs civils de France. Séance du 15 février 1901, pp. 87-90.

(2) On peut se procurer le *fluoroscope Marboutin* et ses accessoires chez M Victor Chabaud, 58, rue Monsieur-le-Prince, à Paris. La boîte, avec montant démontable et planchette pour 12 tubes (chiffre nécessaire), coûte 35 francs; les tubes de cristal, d'un mètre de long, coûtent fr. 1.50 pièce, et les bouchons spéciaux fr. 0.25 à fr. 0.30 pièce.

Quant à la fluorescéine n° 9, la plus spécialement diluable de celles expérimentées par M. Marboutin, elle peut s'obtenir au prix de 35 francs le kilogramme à la *Société*

Digitized by Google

donc à même d'opérer toutes recherches de ce genre sans que l'indiscret phénomène de la coloration, *visible à l'œil nu*, vienne attirer l'attention des habitants ou éveiller leur méfiance, alors qu'à leur insu, mais pour leur plus grand bien, on se livre à une enquête approfondie sur le régime des eaux souterraines alimentant leurs sources et leurs puits.

Grâce à ce précieux critérium aussi, on ne sera plus exposé à conseiller, pour l'alimentation publique en eau potable, des sources ou des venues aquifères qui se seraient montrées suspectes par leur facilité de communication avec des eaux superficielles ou avec des causes de troubles ou de contamination, reconnues par ce procédé.

Parmi les méthodes nouvelles à recommander dans ce genre d'études, où la chimie et la microbiologie sont si étroitement unies à l'hydro-géologie, on peut encore signaler la méthode d'analyse comparative des eaux préconisée par M. *Th. Schloesing*, Directeur de l'École d'application des Manufactures de l'État, et qui est basée sur l'examen des courbes de relations mutuelles et d'allures saisonnières de la proportion des *nitrates* et aussi de celle des *sels calcaires* contenus dans les eaux de source ou de drainage souterrain (1).

Des études de M. Schloesing, on peut conclure qu'une source, dont le titre nitrique se maintient peu élevé, régulier et fixe au travers des influences saisonnières ou accidentelles météoriques, fournit des eaux

nationale de produits chimiques, 50, rue des Écoles, à Paris. Le type de fluorescéine, très recommandable pour les études de visibilité à l'œil nu, et qu'emploie M. Martel, est fourni par la *Société des matières colorantes de Saint-Denis*, 105, rue Lafayette, à Paris, et son prix est sensiblement moins élevé. Le pouvoir colorant de cette qualité de fluorescéine est de quarante millions de fois son poids (1 gramme pour 40 m³ d'eau) et, ainsi diluée, elle reste encore visible à l'œil nu sous une profondeur d'eau de 1 à 2 décimètres.

(1) Th. Schloesing, *Sur les pertes d'azote entraînées par les eaux d'infiltration*. C. R. Acad. Sciences de Paris, t. CXXI, 1895, n° 16, pp 525-528.

Idem, *Sur les quantités d'acide nitrique contenues dans les eaux de la Seine et de ses principaux affluents*. C. R. Acad. Sciences de Paris, t. CXXII, 1896, n° 12, 23 mars 1896, pp. 699-703.

Idem, *Les nitrates dans les eaux de sources*. *Ibidem*, n° 15, 13 avril 1896, pp. 824-829.

Idem, *Les nitrates dans les eaux potables*. *Ibidem*, n° 19. Séance du 11 mai 1896, pp. 1030-1038.

Idem, *Dosage de l'acide nitrique dans les eaux de la Seine, de l'Yonne et de la Marne pendant les dernières crues*. *Ibidem*., t. CXXIII, n° 22. Séance du 30 novembre 1896, pp. 919-923. De plus, l'ensemble des recherches exposées dans les notes qui précèdent se trouve dans un mémoire du même auteur, intitulé : *L'acide nitrique dans les eaux de rivières et de sources*, publié dans le tome VIII de la 2e série des Annales du Conservatoire des Arts et Métiers.

Digitized by Google

bien élaborées et d'origine souterraine homogène, tandis que les variations sensibles, saisonnières, temporaires ou autres, des nitrates dénoncent des apports, soit d'eaux circulatoires souterraines localisées et peu sûres (engouffrements de cours d'eau, etc.), soit d'eaux d'infiltrations superficielles; fontes de neige, engouffrements de bétoires, etc.

Il y a là une méthode simple et des plus fondées, permettant de déterminer, parmi un groupe de sources émergeant, par exemple, du calcaire, quelles sont celles qui ne sont que de *simples résurgences* d'eaux superficielles engouffrées souterrainement en amont, celles qui ont eu à subir des *apports partiels* d'infiltration de surface et, enfin, quelles sont *les véritables sources* dont les eaux ont subi une épuration et une élaboration souterraines suffisamment prolongées pour qu'on puisse, sans trop de craintes, les proposer comme eaux alimentaires.

Il existe encore d'autres procédés d'investigation de l'espèce, tels, par exemple, que celui que M. Martel et moi avons préconisé et qui se base sur des études comparatives saisonnières de variations de température.

D'autres critériums peuvent être fournis par l'examen des variations du débit des sources, comparé à divers éléments d'ordre météorique.

Mais ce procédé est le moins sûr de tous et ne saurait être appliqué *seul*. Il y a lieu, en effet, de tenir compte de l'influence toujours possible de certains phénomènes d'amorçage et d'écoulement de réservoirs aquifères localisés et qui sont en relation avec des dispositifs rocheux de siphonnement.

Si, à ces divers critériums, on ajoute l'étude du degré de limpidité des sources, de la diversité et des variations de cette limpidité, étudiée à l'aide de tubes *ad hoc*, afin de se rendre compte, par exemple, du régime des troubles en relation avec des infiltrations superficielles, pluviales ou autres, dans les régions d'amont, ou des relations avec des engouffrements d'eau courante, on aura épuisé, semble-t-il, la nombreuse série des observations que nécessite la connaissance du mouvement des eaux souterraines.

Si cet ensemble d'études et d'expériences visant à préciser les conditions générales de l'*hydrologie dynamique* de la région ou du massif à drainer ne réclame pas le concours effectif et constant du géologue, ces opérations doivent tout au moins s'effectuer, non seulement d'accord avec lui, mais encore d'après un programme fourni par lui, basé sur les données de son enquête géologique personnelle.

Il nous reste, pour déterminer la nature de celle-ci, à compléter ce

Digitized by Google

qui a été dit précédemment au sujet des travaux du géologue et aussi à montrer quel doit être *le cadre* de cette enquête.

Mais parallèlement à cet exposé, il ne sera pas inutile d'engager le lecteur à suivre, sur la *figure 9* de la page 503, l'application des conseils qui vont suivre et dont la plupart trouvent précisément leur raison d'être et leur justification dans les éléments d'ordre géologique et hydrologique que synthétisent les tracés de cette figure 9, commentés d'ailleurs en détail dans la *Note explicative* qui suit cette figure.

L'enquête géologique, il est aisé de le comprendre, surtout en considérant la figure 9, n'aura pas été localisée seulement dans le site immédiat des points où est proposé le travail de drainage. Elle sera, bien au contraire, étendue assez loin, aura englobé la vallée considérée et les vallons adjacents; enfin, elle doit être reportée à assez grande distance sur les plateaux voisins. Elle s'attachera même à suivre, lorsque cela aura été possible, *les limites géologiques* du massif ou du bassin calcaire, surtout s'il se trouve en contact avec des roches ou avec un complexe de formations peu ou point perméables. Ces lignes de contact constituent alors *la zone de prédilection* des gouffres, bétoires et aiguigeois, ainsi que de la localisation, en poches ou en chapelets, de dépôts meubles sableux, ferrugineux et autres (1), dont le dispositif, tendant, par altération et par dissolution du calcaire, à gagner sans cesse en profondeur, facilite souvent beaucoup l'intrusion et la circulation souterraine des eaux de surface. (Voir fig. 9, en 11.)

Ce sujet d'étude, ainsi que le relevé soigneux des bétoires, aiguigeois ou chantoirs et des crevasses absorbantes, puits perdus, etc., constitue un chapitre important de l'étude hydro-géologique que doit entreprendre le géologue.

Quant aux accidents tectoniques du calcaire; disposition de ses synclinaux et anticlinaux; répartition et allures de ses failles et principales diaclases; variations de structure et de composition de ses bancs, tout cela réclame du géologue une étude attentive et plutôt *régionale* que locale. Cette étude, dans toutes ses parties, doit avoir pour but constant de mettre le géologue comme l'ingénieur à même d'apprécier le mieux possible les RAPPORTS, sans cesse variables et localisés, des divers éléments du *réseau aquifère circulatoire* du massif calcaire, avec les données complexes de sa *structure géologique*.

(1) E. VAN DEN BROECK et A RUTOT, *De l'extension des sédiments tongriens sur les plateaux de Condroz et de l'Ardenne, et du rôle géologique des vallées d'effondrement dans les regions à zones calcaires de la haute Belgique*, BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., DE PALÉONT. ET D'HYDROL., t. II, 1888. PROCÈS-VERBAUX, pp. 9-25.

Digitized by Google

Les coupes naturelles du massif calcaire dans les vallées, les tranchées de routes et de chemin de fer, les parois des tunnels, les grottes et cavernes, les points d'engouffrement et de réapparition des eaux courantes, les échantillons des puits, des forages et même des déblais pour fondations de maisons et d'édifices, en un mot toutes les formes possibles d'accession et d'étude à l'*intérieur* du massif calcaire, ou au besoin de massifs voisins analogues, en cas d'insuffisance de données locales, doivent contribuer à l'enquête géologique et faire l'objet d'investigations spéciales.

Le géologue s'attachera particulièrement, dans ses recherches sur la *structure interne* des massifs calcaires qu'il a à étudier, à se faire une idée aussi exacte que possible du caractère d'ensemble ou *régional* des fentes, cassures, joints et cavités de la roche calcaire, au point de vue de la disposition et du développement *des matières de remplissage éventuel des crevasses et des joints de la roche calcaire.* Ceci lui permettra d'apprécier le degré d'importance, d'extension ou de localisation des zones où se fait un certain *colmatage* au sein des diaclases du calcaire.

Il est aisé de comprendre que des notions aussi précises que possible sur la présence, sur le développement et sur la disposition de ces *filtres internes* des massifs calcaires peuvent être d'une grande utilité, par leur mise en regard, par exemple, avec un résultat favorable des analyses chimiques ou bactérioscopiques. Une telle concordance est appelée à fournir une opinion *motivée* sur le degré d'élaboration et de filtrage souterrain des eaux circulant dans un massif calcaire drainé pour les usages alimentaires.

Ce filtrage, possible parfois dans une certaine mesure, à l'*intérieur* des parties basses des massifs calcaires, peut aussi s'opérer *au dehors de ceux-ci* et avant que les eaux ne s'y infiltrent. Aussi y a-t-il lieu, pour le géologue, d'examiner avec soin la présence, le développement, la nature et les LACUNES de *tout manteau meuble protecteur* recouvrant les plateaux calcaires (voir fig. 9 en *m m'*) et donnant lieu à un certain degré de filtration générale des eaux *avant* leur descente dans les profondeurs du massif calcaire fissuré. C'est surtout quand de tels filtres naturels existent, pouvant donner lieu à un sentiment de sécurité relative, qu'il convient d'étudier avec soin les localisations de points faibles du manteau protecteur (voir même figure, en 1, sur le plateau gauche), ainsi que les points spéciaux et exceptionnels d'engouffrement direct, créés par les *bétoires* ou *aiguigeois*.

L'exposé détaillé qui vient d'être fait, et qui cependant n'a nullement

Digitized by Google

la prétention d'être complet, pourra, à première vue, paraître défendre un programme quelque peu compliqué et chargé d'exigences trop accentuées.

Il n'en est rien cependant, si l'on veut bien se souvenir qu'il s'applique essentiellement aux massifs calcaires rocheux *plissés, disloqués et redressés*, tels que nos calcaires primaires devoniens et carbonifères. Les eaux abondantes autant que « douteuses » de ces calcaires anciens, tout en restant attractives, à première vue, par leur fraîcheur et par leur trompeuse limpidité, constituent pour l'alimentation de nos populations un danger dont bien peu se rendent compte. C'est donc *un véritable devoir* que de montrer, pour des cas pareils, de quelles minutieuses garanties il faut s'entourer avant de se décider à les employer.

Mais tous les calcaires, soit primaires, soit surtout d'âge secondaire, ne se trouvent pas dans ces conditions structurales si complexes et si défavorables. Il en est qui sont disposés, sur d'énormes espaces, en bancs réguliers et continus, ou à peine faillés et en alternance avec des couches imperméables, marneuses ou argileuses : tels sont les calcaires jurassiques formant la ceinture du bassin crétacé et tertiaire parisien. D'autres présentent des caractères mixtes, avec des variations structurales locales ou régionales. Toujours leur régime aquifère se montrera en étroite connexion avec ces données géologiques et variera à l'infini dans ses détails.

C'est assez dire que l'application intégrale du programme scientifique détaillé, qui vient d'être exposé, *n'est nullement toujours exigible*. Mais c'est encore une fois au GÉOLOGUE qu'il faut laisser la responsabilité de limiter alors ce programme à certains éléments essentiels et à certains détails qu'il jugera indispensables. Qui oserait nier, après l'exposé qui vient d'être fait, que le géologue est bien mieux à même que l'ingénieur de se rendre compte, dans ce vaste programme d'études, de ce qui est *nécessaire*, de ce qui est *utile* et de ce qui pourrait être *superflu*, et lui surtout pourra faire englober dans l'enquête scientifique, non seulement ce qui est indispensable pour assurer un rendement suffisant d'eau de bonne qualité, mais encore pour obtenir, au point de vue de la persistance de ces données favorables, de sérieuses *garanties de sécurité* pour l'AVENIR.

C'est lui aussi qui aura à fournir l'indication des mesures de précautions à prendre, des extensions et de la délimitation des *zones éventuelles de protection*, etc., du moins dans les cas scabreux et

Digitized by Google

difficiles du drainage des calcaires rocheux, qui sont surtout visés ici.

La tâche principale de l'ingénieur commencera ensuite, basée alors sur les données précises et sûres que lui aura fourni l'enquête scientifique préalable. C'est ainsi armé, et *dans ces conditions seulement*, qu'il lui sera raisonnablement permis de dire que « pour recueillir une eau pure », il y aura à installer tel ou tel dispositif, à creuser telle ou telle galerie, à faire tous travaux quelconques qui, bien entendu, seront basés sur les résultats et données de l'enquête scientifique préalable.

L'ingénieur ne devra cependant pas perdre de vue qu'il aura rarement à sa disposition, surtout dans les massifs calcaires dont il est ici question, des eaux idéales ou même de qualités absolument constantes et fixes, comme celles de la plupart des drainages en terrains meubles. Certes il obtiendra parfois, en terrain rocheux calcaire, des eaux abondantes et de bel aspect, constituant des ressources acceptables comme garanties et comme sécurité ; mais cette sécurité ne pourra être considérée comme suffisante qu'à cette double condition : que l'enquête scientifique préalable ait été bien conduite et qu'un *contrôle chimique* et *bactériologique* sérieux, périodique et *fréquent*, ou de préférence *permanent*, soit institué pendant toute la durée d'utilisation alimentaire des eaux drainées.

Quant aux consommateurs de ces eaux drainées ou captées dans les calcaires, ils seront en droit de réclamer, comme une condition *indispensable* de leur sécurité, le bon fonctionnement d'un tel contrôle permanent, indépendant et libre de toute entrave ou de considérations d'ordre financier ou administratif. Ils pourront aussi réclamer l'adoption, dans la région du captage des eaux ou des sources du calcaire, de dispositifs spéciaux permettant d'*isoler* et d'*éliminer à volonté* de la distribution telle ou telle source ou venue d'eau dont l'analyse chimique ou bactérioscopique viendrait à déceler, quelque jour, après constatations et enquêtes spéciales, l'altération ou la pollution, *toujours possibles* dans le type de terrains aquifères faisant l'objet du présent exposé.

Arrivé au bout de ma tâche et à la fin d'un exposé bien long, hélas, que j'ai surtout entrepris parce qu'il me semblait constituer un devoir, j'éprouverais un réel scrupule si ma polémique avec M. l'ingénieur Verstraeten avait surtout servi, comme d'aucuns auraient pu éventuellement le croire, à me permettre de développer à loisir mes vues personnelles sur le régime aquifère des calcaires.

Digitized by Google

En réalité, il n'en est rien, et je me plais à croire que les lecteurs m'ayant suivi jusqu'ici seront de cet avis. Je crois, d'une part, avoir réussi à accumuler, dans le présent *Dossier hydrologique du régime aquifère des calcaires*, une somme considérable de matériaux, de citations précises, en même temps qu'un bon nombre de faits soit nouveaux, soit peu connus, qui permettront d'accorder quelque utilité aux peines que je me suis données.

Je crois, d'autre part, être surtout arrivé à démontrer péremptoirement, à ceux qui auraient pu en douter encore, que *le régime aquifère des calcaires*, très variable d'après les conditions géologiques, constitue pour ainsi dire un ordre de faits et de phénomènes n'ayant *aucun rapport* avec les lois et les phénomènes de l'*hydrologie des dépôts meubles aquifères et homogènes*. J'ai, enfin, largement justifié mon programme de 1890 d'étude rationnelle des projets de captation ou de drainage en terrain calcaire, et je l'ai amplifié et commenté, le soumettant aux intéressés en leur montrant les redoutables écueils de l'utilisation de l'eau des calcaires, surtout des calcaires rocheux plissés et redressés.

J'ai pu légitimement me réjouir de la sanction, récemment donnée à ma thèse de 1890, par les pouvoirs publics en France, qui ont décrété comme obligatoire l'*enquête scientifique préalable*, en donnant spécialement le pas à la GÉOLOGIE.

J'ai surtout la vive satisfaction de n'être pas le seul à me réjouir de ce succès, car — et c'est là où je veux en venir pour justifier quelque peu la longueur de mon exposé — ce ne sont pas seulement mes vues personnelles que j'ai ici exposées au cours de ce travail, mais les vues communes à un très important groupe de géologues, tant belges qu'étrangers, ainsi qu'à de nombreux spécialistes, ingénieurs et autres, qui ont, sur le régime aquifère des calcaires, des notions bien différentes des théories défendues par M. l'ingénieur Verstraeten.

Et ce n'est pas seulement dans les domaines courants de la science et de la technique pratique que sont partagées et défendues les idées dont je me suis fait le défenseur. Ce n'est pas seulement dans les nombreux traités, mémoires et livres des spécialistes éminents, des « maîtres de la science » dont j'ai fourni, cette fois encore, des extraits multiples autant que significatifs.

C'est au cœur même de l'enseignement universitaire et classique de l'une de nos plus brillantes Facultés des sciences, qu'il m'a été permis de trouver, contre la thèse de M. Verstraeten, un appui montrant

Digitized by Google

combien le présent travail est peu « personnel » dans les vues qu'il expose.

Je suis, en effet, dûment autorisé à déclarer que M. *Max Lohest*, dans son cours de *géologie appliquée* de la Faculté technique de l'Université de Liége, professe, depuis dix ans, une manière de voir, sur l'hydrologie et sur le régime aquifère des calcaires, analogue à la mienne et en *opposition complète avec la théorie de M. Verstraeten*. Si, à l'appui de cette affirmation, je n'ai pas reproduit, au cours de ce travail, de nombreux extraits du cours de M. Lohest, c'est parce que le savant professeur de Liége compte en fournir lui-même, prochainement, l'*exposé complet* à la Société géologique de Belgique.

M. Verstraeten voudra bien, sans doute, accorder quelque valeur à l'argument que je lui apporte ici, au sujet du bien fondé de la version exposée et défendue par moi des « principes qui doivent servir de guide dans les travaux de captage des eaux alimentaires ». Il devra bien reconnaître aussi que pour ce qui concerne l'application de tels principes au drainage des massifs calcaires, il reste actuellement bien isolé, bien en dehors de l'*universel accord* dont tout le présent travail est la presque constante expression.

Lorsqu'on voit l'honorable Ingénieur se cantonner si obstinément *à côté* des notions précises et sûrement acquises aujourd'hui, par suite du progrès incessant de nos connaissances; lorsqu'on le voit défendre les hérésies que l'on sait sur l'hydrologie des calcaires, on ne peut se défendre de croire qu'il en est toujours resté, en cette matière spéciale du moins, à l'époque, déjà lointaine (1882), où il disait comme *conclusion* de son étude sur les eaux alimentaires de la Belgique (1) : *Voilà donc, en substance, à quoi se réduit notre hydrologie; pas de données positives, le doute enveloppant la plupart d'entre elles, et comme lien la complaisante hypothèse.*

S'il en était peut-être ainsi, en effet, en 1882, il n'en est plus de même aujourd'hui, à l'aurore du XXe siècle!

L'exposé détaillé et si documenté fourni par le présent *Dossier hydrologique* l'aura prouvé surabondamment, je l'espère.

Les services nombreux et féconds rendus à l'humanité, grâce aux progrès incessants de la Science pure, par sa fille la Science appliquée, dans les multiples domaines de son rayonnement, montrent les liens étroits de ces deux éléments.

(1) TH. VERSTRAETEN. *Les eaux alimentaires de Belgique*, 2 fascicules in-8°, Bruxelles, 1883. Baertsoen. — Voir 2e partie : Hydrologie, p. 196, § 5.

Digitized by Google

De même, les progrès de l'*hydrologie souterraine* constituent un corollaire tout naturel de l'avancement de nos connaissances en matière de *géologie* et de *spéléologie*, et si actuellement, loin d'être encore enveloppée « de doutes et d'hypothèses », l'Hydrologie appliquée a laissé, pour le plus grand bien des populations, pénétrer ses mystères d'autrefois, c'est exclusivement aux progrès de la Géologie et de la Spéléologie qu'elle le doit, et c'est aux spécialistes représentant ces deux sciences, et notamment aux *géologues*, qu'il appartient, avant et mieux qu'à tout autre, d'en résoudre les problèmes et d'en faire connaître aux profanes les apparents mystères.

Bruxelles, mars 1901.

Digitized by Google

TABLE DÉTAILLÉE DES MATIÈRES (1)

LE DOSSIER HYDROLOGIQUE AQUIFÈRE EN TERRAINS CALCAIRES ET LE RÔLE DE LA GÉOLOGIE DANS LES RECHERCHES ET ÉTUDES DES TRAVAUX D'EAUX ALIMENTAIRES 378

Exposé historique des circonstances ayant amené la rédaction du travail . . . . . 378 § 1
But et contenu de cette étude . . . . . 380 § 4
Première observation au sujet de la base de certaines des critiques de M. Verstraeten . . . . . 382 § 3
Deuxième observation : A propos du rôle et des travaux d'André et de Gustave Dumont, au sujet des galeries alimentaires de Liége. . . . 383 § 4
Troisième observation : Analyse du mode de discussion suivi par M. Verstraeten (bas de la page) 386

DE L'EMPLOI, EN HYDROLOGIE, DE L'EXPRESSION DE « NAPPE AQUIFÈRE ». (388)

A. — *Opinion des géologues* . . . . . (388)

Citations extraites de *Daubrée* : Les eaux souterraines à l'époque actuelle . . . . . *388* § 5

(1) Dans le but de guider le lecteur dans l'accumulation de faits, de documents et de controverses réunis dans le « DOSSIER HYDROLOGIQUE », cette table détaillée des matières, fournit, par des *différences typographiques* dans les chiffres de la pagination, un **mode de classement** s'adjoignant aux détails de la table, pour faciliter les recherches.

Les *chiffres ordinaires* : 369, indiquent la partie du texte spécialement destinée à réfuter certaines erreurs d'interprétation de l'exposé de M. Verstraeten, à dissiper des malentendus sur lesquels sont basées certaines de ses critiques de 1897 : en un mot, à la partie spécialement polémique et contradictoire de mon travail. Les chiffres imprimés en *caractères italiques* : *396*, indiquent les passages ayant pour but d'opposer aux vues de M. Verstraeten *les textes* de divers auteurs classiques : géologues, ingénieurs et spécialistes divers, et de montrer combien ces textes sont d'accord avec les vues défendues par moi. Les chiffres en *caractères gras* : **639**, indiquent les passages du *Dossier hydrologique* où l'on trouve principalement des données d'intérêt général, et dans lesquelles la discussion des idées de M. Verstraeten n'intervient plus que comme l'occasion d'entamer les divers problèmes scientifiques abordés. Dans les passages ainsi désignés, on trouvera un certain nombre de faits soit nouveaux et inédits, soit peu connus, utiles pour la mise au point des vues générales défendues dans le présent travail.

Enfin, les chiffres imprimés en *caractères allongés* : **693**, se rapportent aux subdivisions de l'exposé, soit représentées par des *titres*, *sous-titres* et *rubriques* du texte représenté en regard de ces chiffres dans la table, soit non fournis dans le texte par de telles rubriques spéciales. Dans ce dernier cas, lesdits chiffres sont indiqués entre parenthèses (**936**).

Digitized by Google

Citations extraites de *J. Gosselet :* Leçons sur les nappes aquifères du Nord de la France. . . . . *389* § 2
Citations extraites de *Credner :* Traité de Géologie et de Paléontologie. *389* § 6
— *A. De Lapparent :* Traité de Géologie, 4e édition. *389* § 10
— *P. Choffat :* Les eaux souterraines et les sources en Portugal. . . . . *390* § 5

B. — *Opinion des ingénieurs, techniciens et hydrologues professionnels* . . . . . (391)

Citations extraites de *J.-A. Pierrot :* Études hydrologiques et géologiques sur le bassin de la Meuse . . . . . *391* § 4
Citations extraites de *Éd. Imbeaux :* Les eaux potables, etc., en Meurthe-et-Moselle. . . . . *391* § 10
Citations extraites de *Villain* (Notice insérée dans le travail précédent). *392* § 2
— *Durand-Claye :* Leçons d'hydraulique agricole et de génie rural . . . . . *392* § 9
Citations extraites de *Henry Boursault :* Recherches des eaux potables et industrielles . . . . . *393* § 12
Motifs pour admettre parfois, avec M. Boursault, contrairement à l'avis de M. E.-A. Martel, l'application de l'expression *nappes aquifères* aux eaux de certaines dispositions des calcaires rocheux aussi bien qu'à celles des dépôts meubles (note 1 au bas de la page) 393
L'opinion des hommes de lettres, d'accord avec celle des géologues et hydrologues, au sujet de la signification qu'il faut attribuer à l'expression : *nappes aquifères*. . . . . 394 § 4
Les divergences existant entre M. Martel et M. Verstraeten au sujet des motifs préconisés par eux pour rejeter l'expression : *nappes aquifères* 394 § 6

Discussion d'une question de fond avec M. Verstraeten au sujet du régime aquifère des calcaires . . . . . (395)

Le régime aquifère des massifs calcaires fissurés et leur « dispositif circulatoire localisé ». Études contradictoires (figures 1 et 2). . . . 395 § 5
La question de l'empiétement des bassins alimentaires souterrains en massifs rocheux calcaires. . . . . 401 § 3

NOTES SUR LE RÉGIME AQUIFÈRE DES TERRAINS CALCAIRES . . 403

Division du sujet en quatre chapitres . . . . . (403)

I. — Hydrologie des terrains rocheux calcaires. 403

Le délitement dans les calcaires et celui des schistes (bas de la page). 403
De l'extension verticale, dans les calcaires, des joints, diaclases et de leur soudure à minime profondeur, d'après M. Éd. Dupont. . . . . 404 § 5
Répartition et développement des cavités, grottes et cavernes suivant la nature lithologique des terrains. . . . . 405 § 3
Utilisation des eaux d'infiltration des schistes et des quartzo-schisteux, surtout pour les puits domestiques et agricoles . . . . . 406 § 5
Réponse aux critiques de M. Verstraeten au sujet de la perméabilité du massif houiller traversé par les galeries alimentaires de Liége . . . 407 § 10

Digitized by Google

Motifs des caractères particuliers du régime aquifère des terrains calcaires et de l'impossibilité d'unifier ce régime avec celui des dépôts meubles . . . . . 408 § 2
Opinion et textes de M. *E.-A. Martel* à ce sujet . . . . . 408 § 4
— de M. *Schloesing* (*Comptes rendus*, *Acad. des sciences*) . . . . 409 § 5
Synthèse de M. Martel sur le régime aquifère des calcaires (extrait du traité : la *Spéléologie*) . . . . . 409 § 8
Rappel des dispositions spéciales qui, dans certains bassins calcaires belges, permettent un correctif à la thèse trop absolue de l'absence de vraies nappes dans les calcaires . . . . . 409 § 9
Opinion et textes de M. *Stainier* : Allure des nappes aquifères, etc. . . 409 § 11
La thèse de l'existence d'une couche aquifère générale dans les calcaires, appliquée par M. Verstraeten à la région de Tournai (fig. 3) . 410 § 2
Faits inédits constatés dans cette région et controuvant la thèse de M. Verstraeten. . . . . 411 § 2
Détails sur le puits de l'Hospice civil, à Tournai (note 1 de la page) . . 411
Détails inédits sur le puits de l'Asile des aliénés, à Tournai . . . . . 412 § 2
Preuves, à Tournai, de l'existence du « régime circulatoire localisé » et de l'absence d'une nappe aquifère générale et profonde, contrairement aux vues de M. Verstraeten . . . . . 413 § 2
Faits confirmatifs, en ce qui concerne la localisation des eaux dans les calcaires; exemples fournis par M. *J. Gosselet* dans ses Leçons sur les nappes aquifères. . . . . 413 § 5
Rappel des cas spéciaux, s'offrant en Belgique et permettant d'admettre, dans une certaine mesure, l'existence, dans les calcaires, de nappes aquifères analogues à celles des dépôts meubles . . . . . 416 § 6
Étude critique de l'exposé fait par M. Verstraeten, comme application de ses vues sur le régime aquifère des calcaires horizontaux de Tournai, dans sa brochure de 1888, intitulée : La question des eaux de Tournai . . . . . 417 § 4
Interprétation défavorable, sous les lumières de la Géologie, des conclusions optimistes de M. Verstraeten, et exposé du motif réel des « singularités » décrites par lui . . . . . 420 § 1
L'existence du *régime circulatoire localisé*, inconsciemment constatée en 1888 par M. Verstraeten . . . . . 421 § 4
Conclusions intéressantes à noter au sujet du régime aquifère des calcaires . . . . . 423 § 3

II. — Hydrologie de la craie 423

A propos de l'existence de prétendues cavernes dans la craie de Belgique . . . . . 423 § 6
Les *tawes* de la Craie sénonienne du Haut-Geer. . . . . 424 § 6
Eaux artésiennes produites par l'action des tawes . . . . . 426 § 4
Solidité des parois crayeuses dans les puits, caves, etc., de la craie. . 426 § 5
Détails sur les galeries creusées dans la craie à Spiennes par nos ancêtres de l'époque néolithique . . . . . 427 § 1
Le *trou des Sarrasins* à Ciply (Hainaut) . . . . . 427 § 2
Les trous des Nutons de la craie de Hesbaye à Avennes, Meeffe et Braives . . . . . 428 § 2
La mort dramatique d'un mineur préhistorique à Obourg . . . . . 429 § 1

Digitized by Google

Motifs pour lesquels les cavités creusées par *voie chimique* dans la craie doivent être plus stables et plus résistantes à l'éboulement que les cavités *artificielles* . . . . . 429 § 3
Mise au point de la définition du dispositif des cavités aquifères naturelles de la craie . . . . . 430 § 2
Rectification apportée à un texte de 1887, dans lequel MM. Van den Broeck et Rutot attribuaient erronément, à un niveau de base de la craie sénonienne de Hesbaye, l'existence des eaux artésiennes localisées fournies, en réalité, par l'action des *tawes* . . . . . 430 § 10
La définition des eaux artésiennes, d'après M. le professeur J. Gosselet. 431 § 4
Remplacement, proposé par M. L. Janet, du nom de *nappe artésienne* par celui de *nappe ascendante*, ou par le nom de *nappe captive*, proposé par M. Boursault . . . . . 431 § 5

Conclusions fournies par les deux premiers chapitres de l'annexe 432

Importance de la diversité des conditions géologiques et de son rôle . 432 § 2
Détails sur le régime aquifère de la craie du bassin de Londres (note 1) 433

III. — Les régions calcaires de Han-Rochefort et celles du Bocq et du Hoyoux, par rapport à l'opinion des « maîtres de la science » sur le régime aquifère des calcaires. — Arguments supplémentaires fournis par la région de Remouchamps 434

Motif de la réponse ici fournie à la partie critique de l'exposé de M. Verstraeten, non reproduite par lui dans le *Bulletin* de la Société. 434 § 3
Phrase synthétique à laquelle peut se réduire toute l'argumentation de M. Verstraeten . . . . . 434 § 5
Signification des données hydrologiques fournies par la région de Han-Rochefort et rappel des travaux de MM. Dupont et Willems à ce sujet. . . . . 435 § 5
Le prétendu désaccord, d'après M. Verstraeten, des géologues belges sur les principes de l'hydrologie des calcaires rocheux . . . . . 436 § 2
En quoi consistent les critiques formulées par M. Verstraeten au sujet des exposés qui ont été faits du régime hydrologique des bassins du Bocq et du Hoyoux . . . . . 437 § 1
La question du débit des sources en massifs calcaires appliquée, par M. Verstraeten, aux résultats « exceptionnels » des jaugeages des sources du Bocq et du Hoyoux . . . . . 438 § 3
L'explication du phénomène, si déconcertant pour M. Verstraeten . . 439 § 4
Ce qu'il ne peut s'empêcher de reconnaître, en présence des faits. . . 441 § 1
Les véritables facteurs influant sur le débit des sources du calcaire (voir aussi les notes 1 et 2 de cette même page) . . . . . 441 § 5
L'argument des nivellements de nappes aquifères invoqué par M. Verstraeten pour soutenir sa thèse d'unification des régimes aquifères . 442 § 2
Ce que montrent, au contraire, ces nivellements aquifères dans les massifs calcaires . . . . . 442 § 4
Différenciations justifiées, signalées par M. Walin, entre le régime aquifère, la disposition et le développement des cavités et des grottes du calcaire *devonien* belge et ceux observés dans nos calcaires *carbonifères* . . . . . 443 § 2

Digitized by Google

L'HYDROLOGIE DES CALCAIRES DE LA RÉGION DE REMOUCHAMPS . . . 443

La vallée sèche du nord de Remouchamps, ou *vallon des Chantoirs*, et les phénomènes de disparition de cours d'eau qu'elle présente (fig. 4). 443 § 4
But de la coupe géologique transversale (fig. 5) de la partie centrale du vallon des Chantoirs . . . . . 445 § 7
Exposé du détail, d'ordre purement stratigraphique, non représenté dans la coupe . . . . . 446 § 2

Légende détaillée de la figure 5, représentant la coupe transversale du vallon des Chantoirs 447

Explication des tracés et des inscriptions de la figure . . . . . 447 § 3
Disposition générale du calcaire givetien dans les bassins de Dinant et de Namur . . . . . 449 § 2
Ce que deviennent les ruisseaux tributaires du vallon des Chantoirs et régime aquifère souterrain de la vallée sèche étudiée . . . . . 449 § 5
Localisation des différentes zones de corrosion et de circulation souterraine dans les diverses parties du massif calcaire . . . . . 450 § 2

Régime hydrologique du calcaire givetien, étudié dans le vallon des Chantoirs, à Remouchamps 451

Étude détaillée des zones A à D figurées sur la coupe (fig. 5) . . . . . 451 § 3
Les effets, dans le vallon des Chantoirs, de la trombe du 17 mai 1859 . 453 § 4
Les analogies, simplement apparentes, du régime aquifère établi sous le vallon des Chantoirs avec celui des calcaires en cuvettes du Condroz . . . . . 454 § 1
Différences accentuées entre le régime aquifère des calcaires devoniens, celui des calcaires rocheux horizontaux et celui des bassins calcaires en cuvette . . . . . 454 § 4
Multiplicité des facteurs influant sur la différenciation des caractères régionaux ou locaux du régime aquifère des calcaires . . . . . 455 § 2

IV. — Le rôle de la géologie dans les recherches et dans les travaux d'hydrologie appliquée, spécialement dans l'étude des ressources aquifères des terrains calcaires 456

Rappel de la thèse de M. Verstraeten interprétant mon programme de 1890 sur le rôle du géologue comme une intrusion non justifiée dans les travaux de l'ingénieur . . . . . 456 § 2
Utilité qu'offre la rectification de ces vues erronées de M. Verstraeten. 456 § 10
Accord de la thèse défendue dans le présent travail avec les vues des autorités scientifiques et techniques les plus incontestées . . . . . 457 § 3
La brochure jubilaire de la Société belge de géologie : *A quoi peut servir une Société de géologie, etc.* . . . . . 457 § 5
Rappel des critiques qu'elle renferme au sujet de la manière dont sont parfois élaborés, sans base justifiée ni études scientifiques préalables, les projets de drainage alimentaire et de captation d'eaux souterraines . . . . . 458 § 4
La critique de M. Verstraeten au sujet de certains passages de la brochure jubilaire de M. Hans . . . . . 459 § 2

Digitized by Google

Reproduction, pour rappel, de mon programme d'études de 1890, proposé pour l'élaboration de projets de drainage ou de captation d'eau . . . . . 459 § 5
La genèse habituelle, en Belgique, de l'étude et de l'élaboration d'un projet de distribution d'eau. . . . . 460 § 6
La géologie et ses lumières trop souvent consultées *après coup :* inconvénients graves de ce système regrettable . . . . . 461 § 3
Les bases de la critique de M. Verstraeten : absence d'arguments justifiés, rôle prépondérant des malentendus. . . . . 462 § 6
Comment M. Verstraeten arrive à trouver que le concours des lumières de la Géologie lui fournit deux « marches rationnelles, diamétralement opposées », récusées par lui pour ce motif . . . . . 463 § 2
Exposé de M. Verstraeten de la « vieille marche » préconisée par lui pour l'élaboration d'une question de distribution d'eau . . . . . 463 § 3
Discussion de ces vues et mise en relief, contradictoire, du rôle du géologue . . . . . 464 § 6
Les aveux de M. Verstraeten. La « vieille marche » n'est pas une marche triomphale ! . . . . . 465 § 4
Conclusion de l'exposé ayant rencontré la critique de M. Verstraeten . 466 § 2

Aperçu historique des travaux de drainage alimentaire de la ville de Bruxelles 466

Extraits de textes de M. l'ingénieur E. Putzeys, tirés de ses *Études sur les vallées de l'Ourthe, du Hoyoux et du Bocq,* et traitant du rôle du géologue dans l'étude préalable des projets de distribution d'eau. . *466* § 7
Conclusion du rapport réclamé, en 1889 par la ville de Bruxelles à MM. Rutot et Van den Broeck, au sujet de projets d'extension de sa distribution d'eau . . . . . 468 § 2
Conclusion d'un second rapport des mêmes auteurs, présenté en 1892 et mise en lumière, par M. l'ingénieur Putzeys, de l'utilité de ces études géologiques. . . . . 469 § 2
Rôle utilitaire de la *Commission scientifique* de 1870 ayant eu à apprécier le projet de drainage du Bois de la Cambre, préconisé par M. Verstraeten . . . . . 470 § 4
Contrôle géologique permanent ayant, en fait, existé pendant toute la phase d'exécution et d'extension de la distribution d'eaux potables à Bruxelles . . . . . 471 § 3

Série d'extraits d'auteurs ayant mis en relief le rôle important de la géologie dans les travaux d'eaux alimentaires . . . . (471)

Citations extraites de *X. Stainier :* Allures des nappes aquifères au contact des terrains primaires . . . . . *471* § 5
Citations extraites de *P. Choffat :* Étude géologique du tunnel de Rocio, à Lisbonne . . . . . *472* § 2
Citations extraites de *L. De Launay :* Géologie pratique (Paris 1900) *472* § 7
— de *H. Boursault :* Recherches des eaux potables et industrielles (Paris 1899) . . . . . *473* § 6
Citations extraites de *Léon Janet :* Conférence de géologie appliquée sur le captage des eaux et la protection des sources d'eaux potables. *474* § 7

Digitized by Google

Citations extraites du Rapport à M. le Président du Conseil, Ministre de l'Intérieur et des Cultes, sur l'instruction des projets de captage et d'adduction d'eaux, sur le droit d'usage, l'acquisition et la protection des sources (Rapporteur M. *H. Monod*, conseiller d'État). . . . . *475* § 5
L'étude géologique *préliminaire* de tout projet de distribution d'eau confiée dorénavant, en France, aux géologues du Service de la Carte géologique . . . . . **476** § 2
Texte de la *Circulaire ministérielle* envoyée par le Président du Conseil, Ministre de l'Intérieur et des Cultes, aux préfets de France, leur faisant connaître la *nouvelle instruction à suivre* pour l'élaboration des projets de distribution d'eau . . . . . *477* § 4
Reproduction, pour rappel et comparaison, du texte de mon programme de 1890. . . . . *482* § 3

NOTES ADDITIONNELLES SUR L'HYDROLOGIE DES CALCAIRES ROCHEUX. **483**

Note additionnelle n° 1. — Les ressources aquifères des terrains quartzo-schisteux, par opposition à celles des calcaires **483**

Éclaircissements au sujet de la thèse défendue par M. *Éd. Dupont*, à propos des ressources aquifères des terrains rocheux non calcaires . **483** § 2
Cette thèse s'applique au terrain quartzo-schisteux en général et non au schiste en particulier . . . . . **484** § 1
L'hydrologie d'une région typique du Condroz, d'après M. *Éd. Dupont* (feuille de Clavier). . . . . *484* § 6
Ressources aquifères des terrains quartzo-schisteux, d'après M. le professeur *J. Gosselet*. . . . . *485* § 6
Distributions d'eaux alimentaires basées, en Belgique, sur le drainage souterrain des terrains quartzo-schisteux . . . . . **486** § 2

LE RÉGIME HYDROLOGIQUE DU CONDROZ, PAR M. LE PROF. X. STAINIER. **486**

Exposé extrait de la Monographie agricole du Condroz, par M. *Stainier*. *486* § 4

Note additionnelle n° 2. — I. Le dispositif des « serrements » appliqué aux terrains aquifères meubles et dans les terrains calcaires fissurés. . . **487**

La critique, non encore rencontrée, de M. Verstraeten, au sujet de l'emploi des « serrements ». . . . . 487 § 8
L'opinion de M. l'ingénieur Putzeys au sujet de l'opportunité des serrements en terrains aquifères meubles et de leurs inconvénients en terrains rocheux calcaires. . . . . **488** § 3
Critiques soulevées à ce sujet par M. l'ingénieur Th. Verstraeten . . . *488* § 6
Motifs, d'ordre personnel, du peu de confiance qu'a M. Verstraeten dans l'efficacité des serrements établis en dépôts aquifères meubles. 489 § 4
Précieux avantages techniques et économiques des serrements établis par M. E. Putzeys, dans la nappe aquifère des sables aquifères bruxelliens, alimentant les galeries drainantes de Bruxelles . . . . **489** § 5

Digitized by Google

Raisons s'opposant à l'application, préconisée par M. Verstraeten, des serrements dans les massifs rocheux calcaires. Inconvénients divers qu'ils y présentent . . . . . 491 § 2
L'établissement des serrements est toutefois admissible et justifié dans certains cas de calcaires réguliers et restés plus ou moins horizontaux, tels que les calcaires jurassiques de la Lorraine (Études de M. Imbeaux) . . . . . 492 § 6
Différences *essentielles* existant entre le type des fissures et de leurs dimensions, le mode d'attaque de la roche et ses résidus, dans les *calcaires* et dans les *grès*. Influence de ces éléments au point de vue du degré de filtration des eaux circulant dans ces types rocheux différents. . . . . 494 § 2
Moyens pratiques de remédier à l'inconvénient des décompositions pyriteuses et autres, s'opérant dans les galeries drainantes des terrains quarzo-schisteux. . . . . 494 § 3

II. Ce que vaut la base d'appréciation du chiffre de rendement des sources et des galeries drainantes à l'hectare-jour, dans le cas des terrains rocheux calcaires, plissés et redressés 495

Résumé des critiques soulevées par M. Verstraeten, au sujet du débit des sources du Parc de Modave, et des chiffres de leur rendement à l'hectare-jour . . . . . 495 § 2
Solution, exposée depuis 1890, des soi-disant anomalies et forts débits constatés ; rôle de l'empiétement souterrain des bassins d'alimentation dans les massifs calcaires . . . . . 496 § 2
Appui fourni à la thèse de l'empiétement souterrain, par l'enseignement donné au Cours de géologie appliquée à la Faculté technique de l'Université de Liége. . . . . 496 § 4
Jaugeages par déversement et jaugeages par empotement. Réponse de M. Forir aux critiques de M. Verstraeten . . . . . 497 § 8
Impossibilité d'appliquer rationnellement aux massifs rocheux fissurés les formules du rendement des sources et des galeries alimentaires à l'hectare-jour . . . . . 498 § 2
Objection soulevée par M. *Forir* à l'emploi de l'expression, préconisée par M Verstraeten, de « couche aquifère » à employer en remplacement de « nappe aquifère » (Note 1) 498

Note additionnelle n° 3. — QUELQUES OBSERVATIONS SUPPLÉMENTAIRES SUR L'HYDROLOGIE DES CALCAIRES ROCHEUX SUGGÉRÉES PAR LES DERNIERS EXPOSÉS DE M. L'INGÉNIEUR TH. VERSTRAETEN 499

I. A propos des zones « passive, active et mobile » de M. Verstraeten (1898) dans le dispositif du régime hydrologique des roches calcaires. . . . 499

Distinction, proposée en 1898 par M Verstraeten, pour les éléments du réservoir aquifère des calcaires en *couche passive*, en *couche active* et en *couche mobile* . . . . . 499 § 3

Digitized by Google

Correspondance de ces termes avec les éléments, définis en 1895 par MM. Rutot et Van den Broeck, de leur conception du régime aquifère des calcaires . . . . . 500 § 2
Légende détaillée de la figure 8, fournissant les grandes lignes du dispositif du régime aquifère des eaux imprégnant un massif calcaire fissuré, recoupé par une vallée drainante . . . . . 501 § 2
Établissement d'une zone spéciale supérieure à distinguer dans la zone inférieure passive, ou du régime statique, sous-jacent au thalweg des vallées calcaires . . . . . 502 § 4
Établissement d'un diagramme s'appliquant aux multiples cas à considérer dans le régime aquifère d'un bassin calcaire du type synclinal condrusien (fig. 9) 503

Légende détaillée de la figure 9 et Notice explicative consacrée aux divers éléments représentés 504

Explication des éléments figurés et des lettres de la coupe. . . . . 504 § 1
Illustration, par les tracés de la figure 9, des trois éléments principaux du dispositif aquifère, en massif rocheux calcaire, et indication de quelques-uns des divers cas représentés dans le schéma. . . . 505 § 2
Exposé synthétique des diverses zones constituant la réserve aquifère du massif rocheux calcaire représenté par la figure 9 . . . . . 508 § 6
Possibilité, d'après M. Verstraeten, de la formation de grottes et de cavernes *sous* le niveau du thalweg de certaines vallées rocheuses calcaires (fig. 10) . . . . . 509 § 3
Exposé d'une thèse expliquant différemment la formation de cavernes ainsi situées . . . . . 510 § 2
Légende détaillée de la figure 10 : diagramme montrant, d'après M. Verstraeten, les diverses situations des grottes et cavernes par rapport au régime aquifère d'un bassin calcaire. . . . . 510 § 3

II. — Notes complémentaires sur l'hydrologie des calcaires horizontaux de Tournai 511

Le dernier exposé de M. Verstraeten, à Liége, en avril 1900, sur l'hydrologie des terrains rocheux. . . . . 511 § 2
Les vues actuelles de M. Verstraeten sur l'hydrologie des calcaires horizontaux de Tournai (fig. 11, p. 512) . . . . . 512 § 4
Le point faible du nouvel exposé et des conseils pratiques de M. Verstraeten . . . . . 513 § 6
Dossier des faits et des constatations de M. Duraffour, foreur de puits artésiens, à Tournai, montrant l'inexactitude des vues de M. Verstraeten . . . . . 514 § 1
Curieuses constatations faites par M. Duraffour à Leuze, au sujet du mode d'alimentation des fissures du calcaire . . . . . 516 § 2
Données diverses, fournies par les puits de la région de Tournai, montrant l'*absence,* dans les profondeurs du calcaire, d'une base d'alimentation générale qui serait indépendante de la nappe supérieure d'infiltration des dépôts meubles recouvrants. . . . . 516 § 5

Digitized by Google

Constatations faites dans le calcaire carbonifère d'Anvaing et de Péruwelz par M. Duraffour et montrant, avec l'absence de nappes générales, la localisation des eaux courantes souterraines dans les profondeurs du calcaire. (Notes 1 et 2 de la page.) 517

III. Le dernier exposé de M. Verstraeten au sujet de l'hydrologie des terrains calcaires rocheux en formations plissées et relatif au mode de captage de leurs eaux 518

Légende de la figure 12, montrant, d'après M. Verstraeten, le diagramme du régime aquifère d'un massif rocheux calcaire en formation plissée et le mode de captage de ses ressources aquifères . . . 518 § 3
Appropriation par M. Verstraeten, sous des noms nouveaux, des éléments distingués par MM. Rutot et Van den Broeck, en 1895, dans le régime aquifère des calcaires (fig. 12) . . . . . 519 § 2
A quoi se réduisent les plus récents conseils de M. Verstraeten pour le drainage en eaux alimentaires d'un massif calcaire, plissé ou redressé. *519* § 6
Curieuse objection fournie aux vues de M. Verstraeten par les données graphiques de sa figure explicative . . . . . 520 § 1
Utilité qu'il y a à se rendre compte de la *valeur filtrante* des fentes et des cassures d'un massif calcaire à drainer pour usages alimentaires et études scientifiques à faire préalablement aux travaux de captage. 520 § 3
Exposé des inconvénients dénoncés par le figuré du dispositif préconisé par M. Verstraeten et par l'absence d'études géologiques, faites par un spécialiste, préalablement à l'établissement de tels dispositifs . . 520 § 5
Curieux exemples des dangers de contamination des sources et des résurgences d'eaux courantes engouffrées dans les calcaires, et de la facilité qu'il y aurait parfois à polluer les eaux d'alimentation (Notes du bas de ces pages) . . . . . 522 et 523
Texte de l'article spécial consacré, en France, dans le nouveau projet de loi relatif aux eaux alimentaires, aux interdictions de contamination éventuelle des eaux potables par la voie des bétoires, aiguigeois, failles, etc. . . . . *525* § 4
Existence régionale possible de protection, par voie de filtrage interne ou externe, contre la contamination des eaux circulant dans les calcaires . . . . . 525 § 2
Les principes « devant servir de guide dans les travaux de captage des eaux alimentaires » sont, non ceux exposés par M. Verstraeten, mais la nécessité du contrôle et de la confirmation des qualités alimentaires de l'eau à drainer ou à capter, par la voie d'*une étude scientifique préalable et approfondie,* spécialement dans le domaine de la *Géologie* . . . . . 525 § 5
Exemples constatés de la persistance et de la prolifération des microbes dans le courant circulatoire souterrain des calcaires . . . 525 § 8
Extrait de l'étude de M. le Dr P. Raymond sur la rivière souterraine de Mindroï . . . . . *526* § 6
Application de ces faits à ce qui doit se passer dans les plateaux calcaires des régions primaires de la Belgique . . . . . 527 § 4

Digitized by Google

CONCLUSIONS.

Exposé détaillé des éléments d'un programme d'études scientifiques préalables à la mise sur pied technique d'un projet de drainage ou de captation d'eaux alimentaires, spécialement dans un massif rocheux calcaire plissé et redressé. 528

Inconvénients résultant, pour le drainage des calcaires rocheux, de l'adoption de la thèse de M. Verstraeten . . . . . 528 § 3
Exposé de la marche rationnelle à suivre, qui doit débuter par une étude géologique détaillée . . . . . 529 § 7
Ce qu'il faut entendre par l'*hydrologie dynamique* de la région calcaire soumise aux recherches hydro-géologiques. . . . . 530 § 2
L'ingénieur, dans la phase préliminaire d'étude, peut se charger des questions d'*hydrologie statistique* . . . . . 530 § 3
Abandon complet à faire, dans l'étude du régime aquifère des régions calcaires à couches plissées et redressées, de la méthode d'appréciation des rendements à l'hectare-jour. . . . . 531 § 3
Importance de l'appréciation des fluctuations de débit sous l'influence des variations saisonnières et des actions temporaires météoriques . 531 § 5
Le rôle des grands ruissellement accidentels . . . . . 532 § 3
Analyses chimiques et bactérioscopiques. . . . . 532 § 5
Précieux avantages du nouveau procédé de recherches de M. *Marboutin* au sujet de l'étude de la circulation des eaux souterraines . . . . 533 § 3
L'étude du titre et des variations des *nitrates*, d'après le procédé *Schloesing*, comme critérium de l'origine et de degré d'élaboration des eaux de source . . . . . 534 § 3
Exposé du cadre dans lequel doit s'effectuer et s'étendre l'enquête hydro-géologique préalable . . . . . 536 § 3
Les éléments d'accession à l'intérieur des massifs calcaires, permettant d'en apprécier la structure interne, ainsi que les caractères régionaux des joints et diaclases, considérés comme facteurs de filtrage *interne*. 537 § 1
L'étude à faire du manteau meuble protecteur pouvant recouvrir les massifs calcaires et servir de filtres *externes* . . . . . 537 § 4
Importance de ces études, lorsqu'elles s'appliquent aux massifs calcaires rocheux plissés, disloqués et redressés, tels que ceux des calcaires devoniens et carbonifères de la Belgique. . . . . 538 § 2
Dispositions calcaires ne réclamant pas ces investigations détaillées. . 538 § 3
C'est au *géologue* qu'il appartient de déterminer les éléments du programme d'études, suivant les cas considérés . . . . . 538 § 4

Digitized by Google

C'est seulement muni des bases scientifiques fournies par le géologue que l'ingénieur est à même de commencer rationnellement ses travaux. . . . . **539** § 2
Garanties que sont en droit de réclamer les populations alimentées par des eaux provenant du drainage ou du captage de massifs rocheux calcaires . . . . . **539** § 4
RÉCAPITULATION. Utilité pratique du « Dossier hydrologique du régime aquifère des calcaires ». Sanctions obtenues en faveur des idées qu'il défend . . . . . **539** § 5
C'est grâce aux progrès de la *Géologie* et de la *Spéléologie* que ces questions pratiques d'*Hydrologie appliquée* peuvent actuellement être aisément résolus pour le plus grand bien des populations . . . . . **542** § 1

Digitized by Google

AVIS

RELATIF A LA PUBLICATION

DU

Compte rendu de la Session annuelle extraordinaire

DU 21 AU 26 AOUT 1897

DANS LES ARDENNES

Notre regretté collègue M. VICTOR DORMAL avait bien voulu se charger de la rédaction du Compte rendu de la Session extraordinaire de 1897, dans les Ardennes.

Une mort prématurée ne lui a pas permis d'achever ce travail, pour le complément et la mise au point duquel il comptait réclamer le concours de MM. les professeurs *J. Gosselet* et *A. Renard*, qui ont pris une part importante aux exposés et aux discussions de la session de 1897.

Lorsque le manuscrit, inachevé, de M. Dormal est parvenu au Secrétariat, après d'assez longues recherches ayant contribué à retarder, avec d'autres circonstances, la publication du BULLETIN, il était trop tard pour y englober le travail de notre regretté collègue, d'autant plus qu'il restait encore à réclamer de MM. Gosselet et Renard diverses parties de texte complémentaire.

Par suite de ces circonstances, le Compte rendu de la Session de 1897 est reporté au tome XII de 1898 des MÉMOIRES de la Société.

Digitized by Google

Digitized by Google

TRADUCTIONS ET REPRODUCTIONS

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

(BRUXELLES)

Tome onze

ANNÉE 1897

BRUXELLES

HAYEZ, IMPRIMEUR DES ACADÉMIES ROYALES DE BELGIQUE

112, rue de Louvain

Digitized by Google

Digitized by Google

TRADUCTIONS ET REPRODUCTIONS

CHRONOGRAPHE GÉOLOGIQUE

REPRODUCTION DU TEXTE EXPLICATIF

DE LA

SECONDE ÉDITION

DU

TABLEAU DES TERRAINS SÉDIMENTAIRES

formés pendant les époques de la

Phase organique du Globe terrestre

Mis au point et entièrement retravaillé sur un plan nouveau,
avec application de la gamme des *Couleurs conventionnelles* admises
par les Congrès géologiques internationaux,

AVEC LE

Tableau résumé du Chronographe géologique

PUBLIÉ PAR

E. RENEVIER

PROFESSEUR DE GÉOLOGIE ET DE PALÉONTOLOGIE A L'UNIVERSITÉ DE LAUSANNE

Digitized by Google

TEXTE EXPLICATIF

INTRODUCTION

Il y a longtemps que j'avais l'intention de rééditer mon grand *Tableau des terrains sédimentaires*, dont la première édition était épuisée depuis nombre d'années, et qui m'avait été dès lors demandé à maintes reprises. Mais la science stratigraphique s'était tellement modifiée et son champ tellement accru, qu'il ne suffisait pas de changements et adjonctions de détail. Un travail entièrement nouveau et de longue haleine était absolument indispensable; je ne trouvais pas le temps de m'y mettre.

L'approche du Congrès international de 1894 m'avait stimulé et j'aurais voulu pouvoir y présenter ce travail, dont le plan était arrêté dans mon esprit. Mais les préparatifs du Congrès et du *Livret-Guide* absorbèrent tout mon temps disponible, de sorte que je ne pus que mentionner mon projet dans la section de Stratigraphie et Paléontologie, et indiquer le plan nouveau que je pensais suivre (1).

Depuis lors, je me suis mis sérieusement à l'œuvre, pour pouvoir faire paraître mon travail dans le *Compte rendu du Congrès de Zurich*. Le Comité d'organisation, voyant son amplitude, a décidé qu'au lieu de paraître dans la quatrième partie, il constituerait à lui seul une sixième subdivision de ce volume.

Pour les parties où je me sentais moins compétent, j'ai eu recours à divers collègues qui ont bien voulu m'aider de leurs conseils. M. le professeur Depéret, de Lyon, m'a accordé son bienveillant concours pour les tableaux tertiaires, et spécialement pour les faunes mammologiques. Mon tableau du Carbonifère a été soumis à M. Karpinsky, de Saint-Pétersbourg, et modifié d'après ses avis; celui du Dévonien a

(1) *Compte rendu*, 2e partie, p. 92.

Digitized by Google

été corrigé par M. le professeur Kayser, de Marburg; celui du Silurien a été amendé d'après les conseils de M. Lapworth, de Birmingham.

Je dois en outre beaucoup de renseignements précieux aux confrères suivants, dont je cite les noms par ordre alphabétique : Ch. Barrois, Choffat, Dollfus, Douvillé, Du Pasquier, Fallot, Ficheur, Gosselet, Grand'Eury, de Grossouvre, Haug, Kilian, von Kœnen, Pavlow, Péron, Rutot, Sacco, C. Schmidt, Van den Broeck.

Je ne mentionne que ceux avec lesquels j'ai correspondu spécialement pour cet objet, et j'en oublie sans doute.

A tous ces aimables collègues, ainsi qu'à ceux, beaucoup plus nombreux, dont j'ai utilisé les travaux imprimés, j'adresse mes chaleureux remerciements.

Dans une œuvre de compilation comme celle-ci, je n'ai naturellement pas pu adopter les vues de chacun, mais je me suis efforcé d'être aussi éclectique et aussi objectif que possible. Ai-je réussi? A d'autres d'en juger. Indépendamment des points litigieux, il est évident que j'aurai commis beaucoup d'erreurs, particulièrement en ce qui concerne l'attribution aux divers faciès. Mais ces erreurs mêmes contribueront au progrès, en attirant la critique et provoquant des recherches sur les questions encore mal élucidées.

J'ose donc espérer que mes confrères reconnaîtront l'utilité de mon œuvre et lui feront bon accueil.

Lausanne, 2 octobre 1896.

E. Renevier, prof.

Digitized by Google

NOTICE SUR LA PREMIERE ÉDITION.

Mon *Tableau des terrains sédimentaires* a paru en 1873 et 1874 dans les nos 70, 71 et 72 du *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles* (vol. XII). Il se compose de neuf tableaux en couleur, qui portent chacun la date du tirage (depuis août 1893). Le point de départ de ce travail fut la difficulté que j'éprouvais à faire comprendre aux étudiants la vraie nature des terrains géologiques, c'est-à-dire le fait que ce ne sont point des matières concrètes et tangibles, mais des ensembles de formations qui représentent une certaine durée des temps géologiques.

Le plus complet gâchis régnait alors dans l'emploi des termes appliqués à la hiérarchie des subdivisions. On employait pêle-mêle les termes stratigraphiques (terrain, groupe, système, étage, série, assise, etc.) et les termes chronologiques (période, époque, etc.); on les subordonnait arbitrairement les uns aux autres, chaque auteur selon sa fantaisie.

Il n'y avait point non plus de convention internationale pour l'emploi des couleurs adaptées aux différents terrains, chacun suivant en cela ses préférences. Les cartes géologiques d'ensemble, commencées dans divers pays, avaient adopté des légendes conventionnelles, dans lesquelles une même teinte désignait souvent des terrains fort différents.

Dans le désir de rendre sensible à l'œil la succession des temps géologiques, j'imprimai mes neuf tableaux sur des papiers de teintes différentes; et comme ceux-ci étaient destinés essentiellement à l'enseignement en Suisse, j'adoptai tout naturellement la convention en usage pour la grande carte géologique de la Suisse. D'autre part, je m'appliquai à établir une hiérarchie des subdivisions en deux séries correspondantes, l'une strictement chronologique (ères, périodes, époques, âges), l'autre exclusivement stratigraphique, mais moins complète (systèmes subdivisés en étages).

Grâce à ces notions simples et rationnelles, que j'ai défendues ensuite dans les Congrès géologiques de Paris en 1878 et de Bologne en 1881 (1), mon essai n'a pas été sans influence sur les conventions

(1) *Compte rendu du Congrès de Bologne*, pp. 90, 114, 130, 150, 560.

Digitized by Google

internationales adoptées dans ces deux Congrès, en vue de l'unification des termes et des couleurs géologiques, conventions sur lesquelles je puis maintenant baser ma nouvelle édition.

Surtout préoccupé de raccorder les divisions stratigraphiques suisses à celles des régions classiques étrangères, j'avais groupé les formations locales sous deux grands chefs : cinq colonnes, exceptionnellement six, étaient consacrées aux gisements classiques, groupés par régions; quatre colonnes représentaient les formations locales des diverses régions helvétiques.

C'est ici, comme on va le voir, que j'apporte à mon Tableau les plus profondes modifications.

PLAN DE LA SECONDE ÉDITION.

J'ai intitulé mon nouveau tableau : *Chronographe géologique,* parce qu'il est, dans mon intention, une représentation graphique de la durée des temps géologiques pendant lesquels se sont formés des terrains sédimentaires.

Il se compose de douze feuilles, imprimées sur papiers teintés aux couleurs internationales adoptées pour la Carte géologique d'Europe en cours de publication. Ces douze feuilles représentent les périodes que j'ai admises, en me conformant autant qu'il m'a été possible aux idées les plus répandues.

Les colonnes de gauche sont consacrées au groupement hiérarchique des temps ou des terrains qui les représentent, en quatre ordres de divisions subordonnées les unes aux autres, conformément aux conventions internationales adoptées en 1881 à Bologne.

Je n'ai pas jugé opportun d'introduire un cinquième ordre de subdivisions, celles-ci ayant une valeur purement locale.

Puis vient une colonne intitulée : *Zones biologiques de prédominance.* J'y ai inscrit, à leur niveau le plus habituel, un petit choix de fossiles *classiques*, c'est-à-dire des espèces les plus fréquemment citées pour définir les zones ou niveaux. J'évite à dessein le terme de *fossiles caractéristiques,* parce que j'estime qu'aucune espèce n'est absolument caractéristique. Telle espèce peut l'être dans un pays et ne plus l'être dans un autre. Par suite des migrations, les espèces ne doivent pas caractériser exactement le même niveau dans des contrées un peu distantes les unes des autres.

Digitized by Google

Les autres colonnes de chaque feuille, à droite, sont consacrées aux *formations locales,* que j'ai groupées tout autrement que dans la première édition. D'abord, je n'ai plus donné une place prépondérante à la stratigraphie suisse, et j'ai mis tous les pays sur le même rang. Mon Tableau est donc strictement international, sous réserve de la connaissance plus ou moins complète que l'on possède des formations locales de divers pays.

Puis, au lieu d'un groupement géographique, se traduisant par des colonnes consacrées aux divers pays, je me suis appliqué à réaliser, aussi bien que possible, un groupement par *faciès* (1), c'est-à-dire par dépôts formés dans des conditions analogues. Mon but est de faire ressortir les différences de faciès d'un même terrain et de provoquer des recherches dans cette direction nouvelle, qui est la voie normale de la stratigraphie.

Il est évident que, suivant les conditions physiques ou autres, il a dû se produire simultanément, à chaque moment des temps géologiques, des formations très différentes les unes des autres, comme il s'en produit dans le temps actuel. On ne connaîtra bien une époque ou un terrain que lorsqu'on en connaîtra tous les divers faciès. C'est à cela que doivent tendre les études stratigraphiques. De même, on ne connaîtra l'histoire géologique d'un pays que dans la mesure où l'on se rendra compte des conditions dans lesquelles se sont formés les différents terrains qui en constituent le sol.

Mon Tableau contribuera au progrès des études dans ces deux directions différentes, en facilitant les comparaisons dans les deux sens. La lecture des casiers dans le sens horizontal montrera les diverses formations de même âge : *relations d'homotaxie* ou parallélisme. La lecture des colonnes dans le sens vertical fera connaître un même type de formations à travers les âges : *relations d'homotypie.*

(1) Malgré le dictionnaire, qui écrit *facies* sans accent, je mets un *è* à ce mot francisé, pour éviter une fausse prononciation.

Digitized by Google

LES FACIÈS OU FORMATIONS

En tout premier lieu, je dois justifier ma classification des faciès en recherchant les causes qui ont déterminé ces différences de formations.

Le terme de faciès fut introduit par Gressly en 1838 (1) pour désigner les différences, soit pétrographiques, soit paléontologiques, que l'on peut trouver entre divers dépôts de même âge. Cette expression eût été à peine nécessaire si l'on n'avait étrangement abusé du terme de *formation*, en l'employant pour désigner des groupes stratigraphiques formés pendant la durée d'une *période géologique*. Le Congrès de Bologne, en appliquant à ces divisions stratigraphiques le terme de *système*, a rendu son vrai sens au terme *formation*, équivalent du mot allemand *Bildung*, c'est-à-dire *mode de formation*. On ne doit donc plus dire, par exemple, la *formation jurassique (Jura-Formation)*, attendu que ce système comprend un très grand nombre de *formations locales* de divers types, déposées en divers lieux, pendant la durée de la *période jurassique*.

Il y a donc entre les termes de *formation* et *faciès* une très grande analogie de nature, mais leur sens n'est pas tout à fait le même, quoiqu'on puisse dire également différence de formations ou différence de faciès. Voici ce que j'en disais en 1884, dans une étude intitulée *Les Faciès géologiques* (2) :

« Les faciès sont donc en définitive les différentes sortes de formations, sédimentaires ou autres, qui peuvent s'être produites simultanément, à un moment quelconque des temps géologiques, comme cela se passe encore au temps actuel. On dit donc les divers faciès d'un terrain, comme on dirait les diverses formations des temps modernes. »

Et plus loin : « Le Congrès géologique de Bologne a condamné l'abus du mot *formation* et désiré ramener celui-ci à son sens primitif, celui de mode de formation. Mais cet emploi fautif est si général dans le langage scientifique populaire, surtout en allemand et en anglais, qu'il faudra sans doute plus d'une génération pour détruire cette erreur. C'est ainsi que le terme de faciès reste pour longtemps encore indis-

(1) Gressly, *Observations géologiques sur le Jura soleurois*, p. 11.
(2) *Archives des sciences de Genève*, XII, p. 298.

Digitized by Google

pensable dans la langue géologique. Il y a même un certain avantage à avoir deux termes différents, consacrés aux diversités du mode de formation : celui de *formation*, qui s'applique tout naturellement aux différences essentielles (formations sédimentaires, marines, d'eau douce, volcaniques, etc.), et celui de *faciès*, qui désigne les différences de détail (faciès crayeux, vaseux, sableux, lacustres, fluviatiles, d'embouchures, etc.). C'est dans ce dernier sens, en effet, que le mot de faciès est le plus habituellement employé. »

CAUSES ACTUELLES DES DIFFÉRENCES DE FORMATION.

Pour arriver à un groupement rationnel des faciès, il faut d'abord se rendre bien compte des causes qui ont dû agir pour les produire, et avant tout, des causes qui produisent actuellement les formations de différentes sortes.

Ces causes, très multiples, peuvent être groupées sous quatre chefs :

I. Causes géographiques;
II. » thermiques;
III. » bathymétriques;
IV. » chorologiques.

Il est évident que plusieurs causes agissent souvent simultanément, qu'elles s'enchevêtrent les unes dans les autres et que les faciès, actuels ou anciens, n'en sont qu'une résultante. On peut remarquer aussi que les modifications physiques et organiques réagissent les unes sur les autres, de façon que la faune (ou la flore) locale dépend dans une grande mesure de la nature pétrographique du dépôt, et que, d'autre part, celle-ci est souvent déterminée par la vie organique du milieu (craie, etc.)

I. Causes géographiques.

Les circonstances de milieu, de situation, et aussi de composition du sol, ont une importance majeure sur la nature des dépôts et sur la vie organique qui y laisse ses débris. En prenant le mot de sédiments dans un sens tout à fait général, on peut distinguer :

a) Des sédiments terrigènes, dus à l'érosion des terres (ex. sable);

Digitized by Google

b) Des sédiments organogènes, dus à l'accumulation de particules organiques (ex. craie);

c) Des sédiments hydatogènes, dus à la précipitation chimique (ex. tuf calcaire).

La nature même de ces sédiments influe sur la vie organique qui les accompagne. Parmi les causes qui déterminent ces différences, je distinguerai essentiellement :

1° *Conditions de milieu :* Milieu aérien ou aqueux, eau courante ou nappe d'eau, eau salée ou eau douce, etc. L'influence de ces divers milieux est trop évidente pour que je m'y arrête. Les principales différences d'*habitat* des animaux et plantes en dépendent.

2° *Distance du rivage.* Dans les milieux aqueux, il faut mettre en seconde ligne la proximité ou l'éloignement du rivage, qui détermine les groupements biologiques connus sous les noms de faunes : littorale, pélagique ou profonde. Il est reconnu en outre que, sauf de rares exceptions motivées par les courants marins, les sédiments terrigènes ne se déposent qu'à proximité des terres fermes, où ils constituent une bordure littorale, de largeur variable, qu'on estime au maximum à 300 kilomètres (1). Au delà, dans l'immense étendue des océans, il ne se dépose guère que des sédiments organogènes ou hydatogènes.

3° *Forme des côtes.* Suivant que la côte est plus ou moins unie ou découpée, plate ou à l'état de falaise, abritée ou exposée aux vents ou aux vagues, les sédiments terrigènes sont naturellement plus ou moins abondants et plus ou moins grossiers, ce qui exerce aussi une grande influence sur l'*habitat* des êtres. Par le fait de l'agitation des eaux (vagues, marées, courants), ces sédiments détritiques subissent un triage; les plus grossiers se déposent les premiers et forment la grève; les autres sont entraînés d'autant plus loin qu'ils sont plus ténus. De là les dépôts graveleux, sableux ou vaseux, qui ont chacun leur faune plus ou moins spéciale d'animaux marins ou lacustres.

4° *Nature pétrographique des côtes.* Enfin, suivant que la terre avoisinante est formée de roches plus ou moins résistantes, l'érosion a plus ou moins de prise, et les sédiments terrigènes sont plus ou moins abondants. En outre, ces roches, dures ou tendres, peuvent être de composition plus ou moins siliceuse, argileuse ou calcaire, et produire

(1) Voir la jolie *Carte des sédiments de mer profonde,* publiée par Murray et Renard et reproduite en 1893 dans le *Bull. Soc. belge de géol., de pal., etc.,* VII, pl. 6.

Digitized by Google

ainsi par leur désagrégation des *fonds* de diverses compositions, qui, à leur tour, sont préférés par tels ou tels animaux littoraux.

II. Causes thermiques.

L'influence des différences de température sur la vie organique est encore plus évidente, mais présente des cas moins variés.

Elle se fait surtout sentir dans le milieu aérien, où elle détermine les *climats*, dont on connaît l'importance biologique. Quoique à un moindre degré peut-être, la température joue aussi un rôle important dans les milieux aqueux et y détermine des différences fauniques; témoins les récifs madréporiques qui ne peuvent se construire que dans des mers dépassant 20° C. de température.

Nous pouvons distinguer quatre principales causes d'influence thermique :

1° *Les latitudes*, qui déterminent les zones climatologiques : zone boréale ou arctique, zone tempérée, zone tropicale, zone équatoriale, etc. On sait combien les animaux et les plantes sont différemment répartis dans ces diverses zones. Leur influence sur la sédimentation est beaucoup moindre, mais existe néanmoins, comme le prouvent la répartition des récifs madréporiques, presque spéciaux à la grande zone intertropicale, et celle des tourbières, qui existent plus particulièrement dans les zones froides et tempérées.

2° *Les altitudes*, qui déterminent les zones de végétation, et dont l'influence est tout aussi grande, quoique moins apparente, sur la vie animale terrestre. L'influence climatique des altitudes peut contrebalancer parfois celle des latitudes et permettre, par exemple, la formation de tourbières dans les zones tropicales ou même équatoriales. Ces deux causes peuvent aussi s'ajouter l'une à l'autre et produire des températures maximales ou minimales. Enfin, il ne faut point négliger le phénomène glaciaire, dépendant des altitudes ou des latitudes, lequel est d'une grande portée sédimentaire.

3° *La profondeur*. Si les deux causes précédentes sont surtout sensibles dans le milieu aérien, celle-ci, spéciale au milieu aquatique, paraît jouer un rôle moindre comme cause thermique. Elle ne doit toutefois point être négligée, car elle exerce sa part d'influence dans la distinction des zones bathymétriques, dont il va être question.

4° *Les courants aériens ou marins* agissent aussi efficacement dans

Digitized by Google

la répartition géographique des êtres. Ils refroidissent ou réchauffent les milieux ambiants, diversifiant ainsi les climats. L'influence des vents alizés est bien connue. Celle du Gulfstream, qui vient tempérer les côtes du nord de l'Europe, est peut-être encore plus importante.

III. Causes bathymétriques.

Les causes des différences de vie organique, suivant la profondeur des eaux, sont très multiples :

1° *Les différences de sédimentation,* dont j'ai parlé ci-dessus, page 11.

2° *Le refroidissement graduel* de l'eau des mers, à mesure qu'on s'enfonce.

3° *La pression,* qui s'accroît en proportion de la masse d'eau superposée.

4° *La lumière,* qui s'atténue en proportion de l'épaississement de la nappe traversée, de sorte que dans les grands fonds l'obscurité doit être complète. La fréquence des animaux phosphorescents dans les grandes profondeurs est en rapport direct avec cette obscurité.

5° *L'agitation des eaux,* qui décroît dans la même proportion et devient nulle à une faible distance de la surface.

6° Enfin la *proportion d'oxygène* dissous, qui doit, me paraît-il, diminuer à mesure que l'eau s'éloigne de la surface et devient plus immobile.

Voilà les principales causes de la distribution bathymétrique des espèces. Elles sont amplement suffisantes pour expliquer la différenciation verticale des faunes et des flores marines.

Cette question est capitale pour l'étude des faciès, puisque l'immense majorité des formations géologiques sont dues à la sédimentation marine. Il est donc indispensable que j'entre ici dans quelques détails, d'autant plus que le sujet est relativement moins connu et que la plupart des découvertes qui s'y rattachent sont très modernes.

Les expéditions de dragage, en mer plus ou moins profonde, s'étant beaucoup multipliées depuis un certain nombre d'années, on est arrivé à connaître passablement le fond des océans, soit au point de vue des êtres qui y vivent, soit à celui des sédiments qui s'y forment. On a pu y reconnaître ainsi des zones biologiques de profondeur, analogues aux

Digitized by Google

zones d'altitude subaériennes. On admet généralement *cinq zones bathymétriques*, très inégales en dimension verticale, et qui vont en augmentant d'épaisseur à mesure qu'on s'enfonce. La cinquième, de beaucoup la plus considérable, est relativement moins bien connue; il est probable qu'elle devra être plus tard subdivisée.

I. Zone littorale, dite aussi *intercoticale*. Comprise dans l'intervalle du balancement des marées, elle s'étend du rivage jusqu'à une profondeur d'environ 12 mètres, suivant l'intensité variable des marées. C'est la plus étroite, mais aussi la plus peuplée. C'est aussi la seule qui soit susceptible de recevoir une sédimentation à grains grossiers.

II. Zone des laminaires, caractérisée par l'abondance des algues. Elle offre encore une riche population de mollusques et d'autres êtres littoraux. Les bancs d'huîtres en font généralement partie, ainsi que les récifs madréporiques. Sa limite inférieure est placée ordinairement à 30 mètres de profondeur; certains auteurs la descendent plus bas.

Dans les mers privées de marées, comme la Méditerranée, les algues sont absolument littorales, et les deux premières zones se confondent; aussi beaucoup d'auteurs les fusionnent-ils en une seule, sous le nom de zone littorale.

III. Zone des nullipores et corallines, c'est-à-dire des algues calcaires. Population abondante de gastropodes et pélécypodes, souvent de grande taille, ainsi les gros gastropodes carnassiers. L'amplitude de cette zone est déjà plus forte; sa limite inférieure est portée par les uns à 72 mètres, par d'autres à 90 mètres et même au delà.

IV. Zone des brachiopodes et coraux profonds. C'est l'habitation ordinaire des brachiopodes, qui sont toujours rares dans les zones précédentes, des bryozoaires, des alcyonnaires et en général des polypes non constructeurs de récifs. Les gastropodes et les pélécypodes y sont déjà beaucoup moins nombreux. Les auteurs sont peu d'accord sur sa limite inférieure, qui est placée à la profondeur de 200, 300 et même 500 mètres (Zittel).

V. Zone abyssale, de beaucoup la plus étendue, aussi bien dans le sens horizontal que dans le sens vertical. Au delà de 2,000 mètres de profondeur, les mollusques deviennent rares; leurs coquilles sont petites, minces, translucides, incolores; les animaux sont en général aveugles. Les dentales habitent souvent ces grandes profondeurs; et parmi les mollusques pélagiques et nageurs, dont les dépouilles tombent sur le sol, on trouve beaucoup de ptéropodes.

Digitized by Google

Au delà de 3,000 mètres, on ne trouve plus guère que des foraminifères, des radiolaires et des algues calcaires, en général de très petite taille, dont les tests s'accumulent dans les grandes profondeurs, où ils constituent les principaux sédiments, savoir des vases calcaires ou siliceuses organogènes. Mais dans les très grands fonds jusqu'à 8,000 mètres, les tests calcaires sont souvent dissous, et les foraminifères n'existent plus qu'à l'état de moules, tandis que les microzoaires siliceux occupent les plus grandes profondeurs, où leur vase siliceuse alterne avec des produits de précipitation chimique qu'on a nommés l'*argile rouge des hauts-fonds*.

IV. Causes chorologiques.

Certains faits de distribution géographique des animaux ou des plantes ne peuvent s'expliquer par aucune des causes précédentes. Sous les mêmes latitudes et altitudes, et dans des conditions physiques d'ailleurs toutes semblables, on trouve des êtres assez différents suivant les régions. Il y a là une ou plusieurs causes primordiales, relatives à l'origine même de ces êtres.

La *chorologie* (1) est la science qui s'occupe plus spécialement de la distribution géographique des êtres, et qui en recherche les causes. On admet, en général, que les espèces ont un *centre d'origine*, d'où elles ont rayonné, par voie de migrations, dans toutes les directions où elles trouvaient des conditions favorables d'existence. Dans telle ou telle direction, leur propagation était empêchée par des barrières naturelles, par exemple la mer pour les êtres terrestres, un continent pour les êtres marins. C'est ainsi que doivent s'être constitués, par entrecroisement, ces groupements si complexes d'animaux et de plantes qu'on nomme la faune et la flore d'un pays, et qui, abstraction faite des différences de station ou d'habitat, diffèrent plus ou moins d'un pays à l'autre. On peut ainsi distinguer dans le monde actuel ce qu'on a nommé des *provinces biologiques*, qui ont chacune leurs caractères particuliers.

Or, des différences biologiques semblables peuvent se constater également dans les époques géologiques, différences purement chorologiques, qui ne proviennent ni du temps ni du mode de formation. Celles-ci ne sont plus, à proprement parler, des différences de forma-

(1) De χώρα = contrée.

Digitized by Google

tion, mais on leur applique encore généralement le terme de faciès. On dit, par exemple, le Néocomien à *faciès alpin*, à *faciès extra-alpin*, à *faciès boréal*, pour désigner des formations de même âge et physiquement semblables, mais contenant chacune des fossiles particuliers, parce qu'elles appartiennent à des provinces biologiques différentes.

Voilà donc un cas où la notion de faciès est plus ample et compréhensive que celle de formation, quoique habituellement ce soit l'inverse.

GROUPEMENT DES FACIÈS.

Ces causes si nombreuses, dont l'action peut se combiner et s'enchevêtrer, déterminent dans le monde actuel d'innombrables formations diverses simultanées, les unes plus ou moins locales, les autres plus étendues, qui représentent ensemble l'époque actuelle ou *holocène*.

Les mêmes causes ont dû agir, du plus au moins, à toutes les époques des temps géologiques, et déterminer des formations plus ou moins analogues aux dépôts actuels, qui, envisagées au point de vue de leur nature pétrographique et surtout de leurs caractères biologiques, constituent les faciès géologiques.

Ces faciès sont si nombreux et si variés, qu'il ne pouvait être question dans mon Tableau de leur attribuer à chacun une colonne. J'ai donc dû les grouper, et j'ai cherché à le faire de la manière la plus rationnelle. C'est ainsi que je suis arrivé à distinguer neuf types de formations, que j'ai désignés par des noms simples et facilement compréhensibles.

Pour plus de clarté, j'ai attribué aux dénominations de ces neuf types une désinence homophone en *al*, qui distinguera de prime abord ces noms de ceux qui se rapportent à l'âge des terrains. En agissant ainsi, je n'ai fait que généraliser un usage déjà fréquent (*littoral*, *récifal*, etc.).

Tous les géologues distinguent les formations terrestres et les formations marines. Ces dernières étant beaucoup plus nombreuses et importantes dans les temps primaires, secondaires et même tertiaires, il m'a paru qu'il y avait lieu de les subdiviser en deux groupes naturels, d'après les principes mis en lumière par les sondages modernes.

Je ne trouve point satisfaisant le groupement habituel, en formations littorales et formations pélagiques ou de mer profonde. Il me paraît attribuer une trop grande importance au facteur de la profondeur des

Digitized by Google

mers; celui de la distance du rivage me paraît beaucoup plus important, car c'est lui qui détermine plutôt la nature des sédiments terrigènes (détritiques) ou zoogènes, ainsi que celle des faunes enfouies, de rivage (littorales) ou de haute mer (océaniques ou pélagiques).

Me basant sur les résultats des sondages du *Challenger* et autres, tels qu'ils sont résumés sur la carte des sédiments marins de Murray et Renard (1), j'ai subdivisé les formations marines en deux grands groupes :

a) Les formations marines terrigènes ou détritiques;

b) Les formations marines zoogènes ou océaniques.

Les formations récifales, qui sont tantôt littorales, tantôt océaniques par leur emplacement, sont franchement zoogènes dans leur essence, puisque les apports détritiques empêchent la croissance des polypes constructeurs. D'autre part, il y a des formations mixtes argilo-calcaires, dues à un mélange originel de vases calcaires microzoïques avec des limons argileux, d'origine détritique.

Formations terrestres.

J'ai pris ici le mot terrestre dans le sens de continental, par opposition à marin. C'est du reste un usage assez habituel, quoiqu'il soit critiquable. L'adjectif continental, qui vaudrait mieux à certains égards, serait plutôt l'opposé de insulaire.

Je distingue ici quatre types principaux de formations :

I. **Type aérial.** Formations subaériennes, généralement pas ou peu stratifiées, ne contenant que des organismes terrestres, ou accidentellement d'eau douce. Fossiles plutôt rares, très souvent détruits par décomposition au contact de l'air. Les conditions de conservation n'étaient pas favorables, vu la nature peu compacte et peu homogène des sédiments.

En voici les principaux faciès :

a) *Faciès volcanique.* Principalement les agrégats volcaniques plus ou moins grossiers, soit brèches et tufs volcaniques, parfois plus ou moins stratifiés et accidentellement fossilifères. On ne les connaît d'une manière certaine que dans l'ère tertiaire.

(1) Voir note, page 11.

Digitized by Google

b) *Faciès éolien.* Sables mouvants charriés par les vents; dunes; lœss très probablement, etc. Fossiles exclusivement terrestres.

c) *Faciès glaciaire.* Moraines plus ou moins anciennes, pures et remaniées. Ce faciès n'est bien connu que dans les temps holocène et plistocène. Il est probable à l'époque pliocène. Représenté peut-être plus anciennement par certains conglomérats à gros éléments, il paraît probable vers la fin de l'ère primaire, au moins dans l'hémisphère sud (Inde, Australie, Sud-Afrique).

Les alluvions glaciaires commencent déjà la transition aux formations limnales.

d) *Faciès ossifère.* Cavernes à ossements; brèches osseuses; phosphorites, sidérolithique terrestre et autres accumulations ossifères, dues aux eaux météoriques, à des inondations subites, ou en partie aussi à des sources minérales. Caractère mixte aéro-limnal.

Les tufs calcaires et autres, renfermant déjà des organismes d'eau douce, appartiennent plutôt au type suivant, mais conservent souvent un caractère mixte.

La colonne consacrée au type aérial serait restée vide pour la plupart des terrains secondaires et primaires. J'ai pensé en profiter pour y mentionner les principaux gisements d'organismes terrestres, animaux ou végétaux, des divers âges, qu'ils aient vécu sur place ou aient été flottés et entraînés, soit dans des dépôts d'eau douce ou saumâtre, soit même dans des dépôts marins. Cette mention m'a paru opportune et d'une utilité pratique, et j'ai ainsi économisé une colonne. Ces gîtes ne sont pas toujours des formations aériales, mais leurs organismes révèlent la vie aérienne à une faible distance.

II. **Type limnal.** Formations d'eau douce ou nymphéennes. Sédiments généralement bien stratifiés, contenant des fossiles d'eau douce, avec mélange plus ou moins constant de plantes et d'animaux terrestres flottés. Fréquentes dans l'ère tertiaire, ces formations sont bien connues aussi dans l'ère secondaire et la période carbonique, mais à peine signalées auparavant. Il est probable toutefois qu'on les y reconnaîtra également par la suite.

a) *Faciès crénogène ou tufacé.* Dépôts de sources minérales incrustantes. Tufs calcaires ou siliceux, ordinairement plus ou moins vacuolaires, résultant le plus souvent d'incrustation de débris végétaux. Surtout dans la période néogénique.

Digitized by Google

b) *Faciès palustre, marécageux ou tourbeux.* Alternance de sédiments détritiques plus ou moins fins avec des dépôts végétaux plus ou moins impurs, souvent utilisés comme combustibles : tourbe, lignite, houille, anthracite; souvent aussi des calcaires bitumineux. Fossiles d'eau douce adaptés spécialement aux eaux stagnantes marécageuses. Animaux et plantes palustres, variables suivant les régions.

c) *Faciès fluviatile.* Dépôts des eaux courantes : fleuves, rivières, torrents. Matériaux d'alluvion et arénacés, plus ou moins grossiers, suivant la rapidité du courant. Quelques types de mollusques et autres organismes affectent de préférence les eaux courantes; habituellement mélangés d'êtres terrestres flottés.

d) *Faciès lacustre.* Dépôts d'eau douce plus étendus; sauf leur contenu organique, plus ou moins analogues aux sédiments marins. On peut parfois y distinguer un faciès littoral plus ou moins arénacé et un faciès profond formé de sédiments divers et homogènes : calcaire lacustre, etc. Dans la pratique, les faciès *c* et *d* sont souvent difficiles à distinguer; on les confond habituellement sous le nom de *fluvio-lacustre.*

Vu l'abondance des formations limnales dans l'ère tertiaire, j'ai dû leur attribuer, dans mes tableaux I, II, III, deux colonnes, que j'ai fondues en une seule pour les autres tableaux. Dans l'une, les calcaires d'eau douce (limno-calcaires) et les dépôts tourbeux, qui ont en commun une origine plus ou moins organogène; dans l'autre, les formations alluviales et arénacées, exclusivement détritiques.

III. **Type estuarial.** Dépôts d'estuaires ou de deltas, formés à l'embouchure des fleuves dans la mer, et caractérisés par des faunes mixtes, soit fluvio-marines, soit saumâtres. Les deux principaux faciès sont :

a) *Faciès saumâtre,* formé dans les estuaires ou mers intérieures (ex. Baltique) des régions froides ou tempérées, dont les eaux ont été dessalées par les apports d'eau douce excédant l'évaporation. Les sédiments sont plus ou moins semblables à ceux des autres nappes d'eau, douces et salées, mais ils se distinguent par des fossiles spéciaux, appartenant à des genres qui hantent de préférence les eaux saumâtres (*Potamides, Melanopsis, Neritina, Cyrena,* etc.). Souvent aussi on y trouve des animaux marins qui se sont petit à petit accoutumés à vivre dans une eau moins salée; mais leurs formes sont rabougries, comme chez les huîtres de la Baltique.

Digitized by Google

b) *Faciès d'embouchure ou fluvio-marin.* Sédiments détritiques caractérisés par un mélange de fossiles marins, limnaux et même terrestres, ou par des alternances fréquentes de dépôts fluviatiles et de dépôts marins, comme cela se produit dans les deltas maritimes actuels, sous l'influence des déplacements du cours d'eau, ou de modification du régime des vents. Transition des formations limnales aux formations marines.

IV. **Type lagunal.** J'entends par là les dépôts des nappes d'eau extra-salées, dont la salure a été concentrée par l'évaporation, comme cela se produit actuellement dans les lacs salés ou mers intérieures des pays chauds, ainsi que dans certaines lagunes méditerranéennes et autres, en un mot, partout où l'évaporation est plus considérable que l'affluence des eaux douces. On s'est servi souvent du qualificatif *caspiques,* de la mer Caspienne, mais l'expression *lagunal* m'a paru plus euphonique, et s'appliquant aussi bien à ce genre de formations. Les sédiments sont généralement un mélange de matériaux détritiques plus ou moins fins et de précipitations chimiques halogènes : gypse, sel gemme et autres sels solubles. Les dolomies en masses étendues y sont habituelles et paraissent résulter d'un premier degré de concentration des eaux. La nature pétrographique de ces sédiments caractérise donc très nettement ces faciès. Mais en revanche, le criterium biologique fait défaut, ou plutôt c'est un caractère négatif, la salure excessive des eaux ayant la plupart du temps exclu la vie organique, comme cela se voit actuellement dans la mer Morte et d'autres lacs salés.

Sous le nom de *gypsifères* ou *salifères,* ces formations sont connues à peu près à toutes les époques géologiques. Leur fréquence particulière dans le Trias dit *classique* n'est due qu'aux conditions géographiques spéciales de l'Europe occidentale pendant la période triasique.

En fait de faciès spéciaux, on ne peut guère distinguer, dans l'état actuel de nos connaissances, que les deux suivants :

a) *Faciès gypso-salifère,* indiquant une plus grande concentration des eaux, allant jusqu'à la précipitation des sels facilement solubles.

b) *Faciès gypseux,* sans sel gemme, comme par exemple les gypses de Montmartre, qui indiquent des lagunes moins concentrées et dans lesquelles la vie organique est encore possible.

J'ai inscrit tous ces derniers faciès comme formations terrestres, parce qu'ils se sont produits sur terre ferme (lacs salés), ou qu'ils sont une dépendance immédiate des terres (lagunes, estuaires). Ce n'est du

Digitized by Google

reste qu'une question de classification sans grande importance. Ce sont évidemment des faciès transitionnels.

Il y aurait une autre question beaucoup plus importante à considérer, mais sur laquelle je manque de renseignements. Ces dépôts halogènes ne pourraient-ils pas se produire dans les parties les plus profondes des mers, où l'eau devient pour ainsi dire stagnante et où la salure doit, semble-t-il, se concentrer graduellement avec la profondeur, comme divers sondages l'ont montré, spécialement dans la mer Morte et la mer Méditerranée ?

Les formations terrestres sont, comme on le voit, très variées, mais elles ont en général peu d'étendue et présentent plutôt un caractère local.

Formations marines terrigènes.

L'expression hybride *terrigène* a été introduite, si je ne me trompe, par MM. Murray et Renard, pour désigner les sédiments actuels provenant de la désagrégation ou de l'érosion des terres. Elle équivaut en fait à *détritique;* mais terrigène est un terme très suggestif, qui forme un contraste bien net avec zoogène ou organogène. Il est aussi digne de survivance que minéralogie, par exemple, et tant d'autres mots hybrides.

Sauf les cas exceptionnels des courants, qui peuvent entraîner au loin des matériaux, la sédimentation détritique se produit toujours près du rivage. Le matériel des érosions côtières et celui des apports fluviaux subissent un triage régulier sous l'influence de l'agitation décroissante des eaux. Les matériaux plus grossiers se déposent les premiers et forment les grèves, plus ou moins graveleuses. Les sables sont entraînés plus loin du rivage, ou déposés sur des rives abritées; moins l'eau est agitée, plus ils deviennent fins. Enfin les produits les plus ténus de la trituration sont tenus en suspension plus longtemps et déposés là où la nappe d'eau est plus ou moins immobile, c'est-à-dire habituellement le plus loin des côtes et en dessous du balancement des marées, dans des eaux plus profondes. Ils y forment des limons plus ou moins vaseux, de composition argileuse, argilo-calcaire ou même calcaire, selon la composition chimique des côtes érodées.

Ces dépôts terrigènes peuvent être lacustres ou marins, selon la nappe dans laquelle ils se forment. Je ne m'occupe ici que des derniers, qui constituent autour des continents une zone bordure, plus ou moins large, suivant la déclivité du fond et la masse des apports détritiques.

Digitized by Google

Ces derniers peuvent aussi s'y trouver mélangés avec des formations zoogènes, puisque celles-ci ne se produisent point exclusivement dans les hauts-fonds, mais parfois aussi près du rivage, au moins certaines d'entre elles.

Cette bordure terrigène doit comprendre les trois premières zones bathymétriques des biologistes, et probablement aussi en partie la quatrième; mais celle-ci est déjà transitionnelle et doit présenter des sédiments mixtes (terrigènes et zoogènes).

Les débris organiques les plus habituels à ces sédiments détritiques sont donc essentiellement des êtres littoraux; mais à ceux-ci peuvent se trouver mélangés, soit des organismes terrestres, amenés par les apports fluviaux, soit des coquilles pélagiques, flottées jusqu'au rivage.

Les formations marines terrigènes ont un caractère beaucoup moins local que les dépôts terrestres. Par suite des conditions de leur formation, elles présentent même généralement une assez grande extension géographique. Ce sont leurs faciès qu'on rencontre le plus habituellement fossilifères, et qui sont par conséquent les mieux connus. Je les ai groupés en deux types, d'après la nature arénacée ou plus ou moins vaseuse des sédiments, et leur ai attribué les trois colonnes médianes de mes tableaux.

V. **Type littoral.** Formations côtières, à sédiments détritiques plus ou moins grossiers. Fossiles à caractère franchement littoral. Les faciès sont assez nombreux pour que j'aie dû les répartir en deux colonnes, l'une consacrée aux formations arénacées marines, l'autre aux calcaires détritiques grossiers, etc. Du reste, ces faciès sont en général mal définis et auraient besoin d'études locales plus approfondies. Les zoologistes pourraient ici nous être d'un grand secours, en nous faisant mieux connaître les conditions biologiques des dépôts littoraux actuels et des divers groupes d'animaux.

a) *Faciès graveleux ou caillouteux.* Graviers, poudingues, conglomérats grossiers, formés sur les grèves et côtes exposées. L'agitation des eaux et la mobilité du fond excluent les êtres délicats et de petite taille, ou s'ils ont pu y vivre, empêchent leur conservation; aussi n'y trouve-t-on que peu de fossiles. Ce sont surtout de gros bivalves à test épais.

Le faciès graveleux est connu dans les terrains de tout âge et indique presque toujours la proximité des côtes. Dans les cas d'oscillation du sol, se traduisant par une gradation ou dégradation de la grossièreté des sédiments, le niveau graveleux indique donc toujours le maximum d'exhaussement du sol, avant l'émersion, ou le moment

Digitized by Google

où commence l'immersion. C'est ce qu'ont fort bien montré MM. Rutot et Van den Broeck dans l'étude du Tertiaire de Belgique.

b) *Faciès sableux.* Les sables, mollasses, grès et autres produits arénacés moins grossiers indiquent une proximité moins grande de la côte ou une nappe moins agitée. Leur faune est encore tout à fait littorale, mais beaucoup plus riche : mollusques littoraux très variés et très ornés, spécialement de nombreux gastropodes. Ce faciès arénacé est fréquent également à tous les niveaux géologiques.

c) *Faciès calcaire détritique grossier.* Panchina, mollasse calcaire, calcaire grossier, tuffeau et leurs dérivés par consolidation sont évidemment le résultat de la trituration de débris calcaires, provenant soit des falaises avoisinantes, soit surtout de coquilles brisées et autres tests calcaires. La faune en est tout à fait littorale, mais contient parfois des organismes marquant une profondeur un peu plus grande, comme les nummulites du bassin de Paris, par exemple. Ce faciès est surtout connu dès le milieu de l'ère secondaire.

d) *Faciès sidérolithique marin*, dit à tort *fer oolithique*, ou *oolithe ferrugineuse*, aussi *limonite*. Les fossiles marins et littoraux qu'on y trouve, souvent en abondance, prouvent que c'est bien une formation littorale, analogue de substance au sidérolithique terrestre. L'analogie avec les oolithes calcaires, qui sont à mes yeux de nature récifale, et par conséquent zoogène, me paraît beaucoup plus éloignée. L'emploi du terme *oolithe* pour les matières ferrugineuses me semble donc entaché d'erreur, et propre à perpétuer une confusion regrettable. Je pense qu'il faut attribuer les sédiments ferrugineux marins, comme les terrestres, soit au lessivage des eaux météoriques, soit à des sources minérales, entraînant leurs produits dans la mer. Les sources ferrugineuses peuvent avoir été sous-marines ou avoir jailli près du rivage, peu importe. Les petits grains ferrugineux sont des concrétions pisolithiques, et n'ont point, comme les oolithes calcaires, un nucleus organique.

e) *Faciès marno-calcaire à bivalves.* Mélange de sédiments argileux et calcaires, plus ténus, déposés à une profondeur un peu plus grande et plus loin des côtes. L'élément calcaire peut être détritique, ou aussi d'origine organique. Les fossiles prédominants sont principalement les pélécypodes, souvent de grande taille, ce qui correspondrait à une partie déjà profonde de la troisième zone bathymétrique actuelle. Ce faciès fait la transition entre les formations proprement littorales et les formations bathyales. On pourrait le dire *sub-littoral*. Il est fréquent à tous les niveaux géologiques.

Digitized by Google

VI. **Type bathyal** (1). Formations détritiques vaseuses, surtout argileuses, déposées en avant des précédentes, dans la profondeur des eaux circon-littorales. Au point de vue biologique, cela correspond à la quatrième zone bathymétrique des zoologistes. Fossiles principaux : brachiopodes, bryozoaires, polypes non constructeurs, spongiaires, etc., vivant dans ces hauts-fonds. Mêlés avec eux des animaux pélagiques : céphalopodes, ptéropodes, etc., dont les dépouilles flottées y sont descendues de la surface.

On peut distinguer ici de nombreux faciès, différant plutôt par les types d'êtres qui y prédominent, que par la nature de leurs sédiments :

a) *Faciès argileux à brachiopodes*, vrai type de la quatrième zone bathymétrique. Les pélécypodes y deviennent de plus en plus rares.

b) *Faciès argileux à ammonites;* celles-ci souvent pyriteuses, et en général de petite taille, parce que les tours internes du jeune âge sont seuls conservés. La forte prédominance des céphalopodes donne à ce faciès un caractère biologique tout à fait pélagal, mais les sédiments argileux sont tout à fait terrigènes. Connu dès le Dévonique, ce faciès est surtout fréquent dans les terrains liasique, jurassique et néocomien.

c) *Faciès argileux à ptéropodes,* jouant le même rôle que le précédent dans les terrains tertiaires, mais connu déjà plus anciennement, en particulier dans l'ère primaire.

d) *Faciès argileux à graptolithes,* spécial au système silurique, où il prend depuis quelques années une très grande importance.

e) *Faciès à spongiaires*, plus ou moins argilo-calcaire ou argilo-siliceux.

f) *Faciès argilo-calcaire à ammonites*, analogue au faciès *b*, mais faisant transition aux formations océaniques, par son mélange de sédiments terrigènes et zoogènes.

Formations marines zoogènes.

A une distance plus grande des côtes, là où il ne parvient presque plus de sédiments détritiques, même les plus fins, il se forme néanmoins des dépôts, dus ici à la vie organique, parfois aussi, paraît-il, à

(1) Cette orthographe est meilleure que celle de *bathial,* employée par suite d'un lapsus dans mes tableaux.

Digitized by Google

une précipitation chimique. C'est ce qu'ont démontré les sondages en mer profonde. La carte de MM. Murray et Renard, déjà mentionnée, fait voir l'immense étendue qu'occupent ces formations océaniques ou zoogènes dans le fond des océans actuels. Ce sont des sédiments vaseux, tantôt calcaires, tantôt siliceux, qu'on nomme vase à ptéropodes, vase à globigérines, vase à diatomées, vase à radiolaires. Tous ces sédiments sont le résultat de l'accumulation de tests plus ou moins microscopiques d'êtres inférieurs, animaux ou plantes, soit pélagiques, soit pouvant vivre à de grandes profondeurs. Ces microphytes et microzoaires ne sont toutefois pas liés aux grands fonds, mais pullulent parfois aussi à des profondeurs moindres, spécialement là où ne se forment pas de sédiments détritiques. La taille de ces petits êtres paraît décroître avec la profondeur.

A ces sédiments résultant d'accumulation organique, il faut ajouter ceux qui se forment par la croissance des polypes constructeurs, lesquels sont toujours calcaires et peuvent atteindre des épaisseurs beaucoup plus considérables, mais n'occupent pas de si grandes étendues.

Enfin il faut tenir compte des coquilles de céphalopodes et autres vestiges macrozoïques d'animaux pélagiques, qui peuvent descendre au fond de la mer et s'y accumuler également.

Ces formations zoogènes se rencontrent donc à toute profondeur, mais elles existent seules dans les grands fonds, d'où le nom qu'on leur donne souvent de formations de mer profonde (*Tiefseebildungen*). Elles se produisent aussi plus ou moins près des côtes, mais seules se rencontrent dans le centre des océans, d'où leur nom d'océaniques.

Les formations géologiques analogues se groupent assez naturellement en trois types : *pélagal*, *récifal* et *abyssal*, auxquels j'ai consacré les trois premières colonnes de mes tableaux. Si j'ai placé le type récifal entre les deux autres, quoiqu'il soit le plus analogue au type littoral et qu'il se forme, en général, le plus près des côtes, c'est pour ne pas trop séparer les formations bathyales et pélagales, qui sont caractérisées l'une et l'autre par des fossiles pélagiques, et qui se relient souvent par des transitions insensibles.

VII. **Type pélagal.** On dit généralement *pélagique*, mais cet adjectif s'entend strictement des animaux nageurs qui vivent près de la surface des eaux; il ne peut donc pas s'appliquer logiquement à des sédiments qui se forment au fond de la mer. Indépendamment donc de l'intérêt qu'il y avait à terminer par la même désinence *al* les neuf

Digitized by Google

types de formations, il y avait avantage aussi à différencier par là le qualificatif des sédiments de celui des faunes.

Je nomme donc formations pélagales celles qui, se produisant ordinairement à distance des côtes, consistent en sédiments zoogènes et non plus terrigènes, et qui, au lieu de faunes plus ou moins littorales, renferment des fossiles pélagiques associés à des êtres pouvant vivre à de grandes profondeurs.

Alcide d'Orbigny, dans son *Cours élémentaire de paléontologie* (1), citait le grand nombre de céphalopodes fossiles comme un criterium de formation littorale et, par contre, l'absence de leurs coquilles flottées, comme une preuve que le dépôt s'est fait loin des côtes. De nos jours, au contraire, la plupart des travaux géologiques considèrent les ammonites, et autres céphalopodes à coquilles, comme les fossiles caractéristiques des formations pélagales. Les divers traités que j'ai pu consulter ne discutent point la question en principe : on dirait qu'ils ont peur de se brûler les doigts; mais dans la pratique ils suivent l'usage traditionnel actuel. Il y a toutefois des naturalistes qui pensent que les céphalopodes peuvent se rencontrer indifféremment dans les formations littorales et pélagales, et ne fournissent par conséquent aucun critère des conditions du dépôt. Fidèle à mon intention d'innover le moins possible et de ne le faire que là ou j'aurais des raisons péremptoires, je m'en suis tenu dans mes tableaux à l'idée générale, mais en l'atténuant un peu. J'ai admis comme plus ou moins littorales des formations contenant des céphalopodes, mais dans lesquelles ceux-ci ne sont point prédominants, et n'ai considéré comme décidément pélagaux que les faciès calcaires renfermant une grande abondance de céphalopodes, particulièrement ceux où ils sont presque les seuls fossiles, comme les lentilles triasiques du calcaire de Hallstadt et le Néocomien alpin, dit à céphalopodes. Pour ces derniers, il me semble qu'il ne peut guère y avoir de doutes. Toutefois je dois reconnaître que la question de principe est discutable.

Cela posé, voici les principaux faciès qui me paraissent devoir appartenir au type pélagal, tel que je l'ai défini :

a) *Faciès calcaire à céphalopodes.* Calcaires plus ou moins compacts, caractérisés surtout par la prédominance de ces fossiles pélagiques : calcaires à orthocères et autres nautiléens dans le Silurique, etc. ; calcaires à goniatites dans le Dévonique et le Carbonique; calcaires à ammonites dans toute l'ère secondaire. Ce faciès est déjà plus rare

(1) *Cours élémentaire,* II, pp. 593 et 594, par exemple.

Digitized by Google

dans le Crétacique supérieur, et manque absolument dans l'ère tertiaire.

b) *Faciès calcaire à ptéropodes.* Les ptéropodes ont des coquilles délicates, d'une conservation difficile; on conçoit qu'ils se rencontrent rarement fossiles. Ce que l'on connaît, ce sont plutôt des *marnes à ptéropodes*, comme celles que Ooster a signalées à la base du Néocomien des Préalpes, et comme les marnes blanches miocènes des Langhe (Piémont). Transition au type bathyal, par la présence de l'élément argileux détritique.

c) *Faciès crayeux à foraminifères.* L'analogie très grande de la craie avec la vase à globigérines du fond de l'Atlantique, me paraît évidente. Cette question, vivement discutée il y a quelques années, me semble maintenant tranchée. La faune rencontrée habituellement dans le faciès crayeux présente beaucoup des caractères d'une faune profonde : brachiopodes, bryozoaires, échinodermes, spongiaires, etc.

d) *Faciès calcaire à nummulites.* J'ai considéré également la prédominance des nummulites comme un criterium pélagal. Il est vrai que la taille de ces gros foraminifères pourrait faire penser qu'ils ont vécu plus près de la surface. Il est vrai également qu'on trouve des faunes littorales dans les calcaires nummulitiques; mais celles-ci n'occupent que certains points spéciaux, qui peuvent s'être trouvés plus près du rivage et résulter des oscillations du sol. Les calcaires à nummulites, avec rares mollusques, me paraissent donc représenter les formations pélagales du Tertiaire ancien.

e) *Faciès calcaire à fusulines.* Essentiellement formé de foraminifères, on y trouve également beaucoup de céphalopodes : goniatites, ammonites, etc. C'est un type pélagal de la période carbonique, répandu en Russie, dans les Montagnes-Rocheuses et ailleurs.

f) *Faciès glauconieux.* Les grains de silicate de fer nommés glauconie se trouvent habituellement associés aux craies et aux calcaires à céphalopodes. Divers auteurs les ont considérés comme une formation organique. Si tel est le cas, leur place serait bien ici.

VIII. **Type récifal.** Depuis plusieurs années déjà, j'emploie cette expression pour désigner les formations calcaires dues à la croissance organique, d'une manière analogue à ce qui se passe dans nos récifs madréporiques actuels. Cela correspond à ce qu'on nomme habituellement *faciès corallien* ou *coralligène.* Mais comme il n'y a pas que les coralliaires qui forment par leur croissance des amas calcaires, les

Digitized by Google

termes ci-dessus sont impropres et insuffisants. Dans ces dernières années, en effet, on a reconnu à un grand nombre de calcaires le caractère récifal et l'on a constaté que divers groupes d'animaux et de végétaux pouvaient prendre part à ces constructions sous-marines.

Les formations récifales actuelles se présentent soit en bancs parallèles au rivage, soit en barrières plus ou moins saillantes, qui peuvent exister assez loin des côtes, ou même isolées dans la haute mer. Elles sont toujours exclusives de la sédimentation détritique. Il doit en avoir été de même des récifs madréporiques anciens. Sur ces récifs vit habituellement une nombreuse population de testacés divers, et en particulier des gastropodes à coquilles très épaisses, dont on retrouve les analogues dans les calcaires récifaux anciens.

Voici les principaux faciès que je fais rentrer dans le type récifal :

a) *Faciès corallien.* Calcaires plus ou moins compacts, souvent blancs, formés en majeure partie de polypiers plus ou moins branchus, dont les interstices sont remplis d'un limon corallien, provenant soit de trituration des branchages les plus délicats, soit d'incrustation calcaire, due souvent à des algues. Tantôt les polypiers se trouvent encore dans leur position biologique de croissance, ce qui indique plutôt le centre du récif ou sa partie intérieure; tantôt ils sont brisés et accumulés d'une manière irrégulière, ce qui caractérise de préférence le côté externe du récif, en regard de la pleine mer. On y trouve de nombreux testacés, animaux ou végétaux, qui ont contribué à l'accroissement du récif : serpules, gros gastropodes et pélécypodes à test épais (nérinées, dicéras, huîtres, etc.), bryozoaires, échinodermes, lithothamnies et corallines.

Cette formation, si fréquente dans le Jura, où elle a été le point de départ de l'étude des faciès (v. note p. 528), se rencontre dans tous les terrains, depuis les marbres compacts dévoniques et carboniques, jusqu'aux calcaires à polypiers, souvent plus vacuolaires, de l'Éocène et du Miocène.

b) *Faciès oolithique.* Calcaire à grains arrondis, plus ou moins fins, souvent blancs, qui accompagnent généralement le faciès corallien et se forment de nos jours sur les plages extérieures des récifs. Louis Agassiz avait rapporté des récifs de la Floride des calcaires oolithiques tellement identiques à ceux du Jura, que lui-même ne pouvait distinguer les uns des autres que par le goût salin qu'avaient conservé les échantillons modernes.

Ces grains ou *oolithes* sont généralement formées de deux parties.

Digitized by Google

D'abord un nucleus organique, provenant de la trituration de fragments de polypiers ou de tests divers; dans de grosses oolithes du Jura, de la taille d'une noisette, on reconnaît facilement à l'œil la structure organique du polypier, atténuée par l'usure du grain. Ensuite une croûte calcaire plus ou moins épaisse résultant d'incrustation. Dans les grosses oolithes, la croûte calcaire est souvent rudimentaire ou manque même complètement. M. Weathered a donné une douzaine de coupes de grains oolithiques d'âges divers, grossis à 65 diamètres (1). On y voit clairement les deux éléments et la grande variation de la croûte concentrique, parfois absente, qu'il attribue à une incrustation produite par des algues. Cette idée, du reste, avait déjà été émise, entre autres par M. Rothpletz.

Le faciès oolithique, plus habituel dans le Jurassique, se rencontre presque à tous les niveaux dès le Silurique.

c) *Faciès à rudistes.* On est assez généralement d'accord maintenant pour attribuer l'origine récifale aux *calcaires à rudistes* de la période crétacique. Ces mollusques y sont souvent si abondants qu'ils forment presque la roche entière. Ils sont parfois implantés les uns sur les autres, de manière à imiter la croissance des polypiers. Ils constituent d'ailleurs des bancs, habituellement très épais, qui présentent quelque analogie avec les bancs d'huîtres. On n'en connaît guère en dehors du Crétacique, mais les rudistes constructeurs ont pour précurseurs les *Diceras*, fréquents dans les calcaires coralliens du Malm.

d) *Faciès dolomitique.* Dans certains récifs actuels, on voit se former des *calcaires dolomitiques* contenant de 10 °/₀ jusqu'à 40 °/₀ de carbonate magnésien. Cette formation se rencontre surtout dans les lagunes centrales des récifs, où pullulent des algues calcaires fortement magnésiennes. Il est donc très probable que beaucoup de dolomies ont cette origine, même si l'on n'y reconnaît pas des traces de polypiers. Ceux-ci peuvent avoir été résorbés par la lévigation des eaux atmosphériques, ou bien la masse dolomitique peut avoir été construite essentiellement par des algues calcaires, comme par exemple les *Gryroporella,* si abondantes dans certaines dolomies du Trias.

IX. **Type abyssal.** J'ai réservé ce nom aux dépôts des mers les plus profondes, des abîmes. Leur analogie avec les sédiments pélagaux est d'ailleurs très grande, et la transition insensible. Le criterium dis-

(1) *Quart. Journ. Geol. Soc.,* vol. LI, n° 202, pl. 7.

Digitized by Google

tinctif me paraît être essentiellement la rareté des fossiles macroscopiques et la plus grande fréquence de l'élément siliceux.

Ce qui occupe la plus grande étendue des abîmes océaniques actuels, c'est une *argile rouge* ou grisâtre, qui paraît constituer le principal sédiment au delà de 5,000 mètres de profondeur. On y trouve des moules ferrugineux de foraminifères, des globules concrétionnés de fer ou de manganèse, des nodules siliceux, des particules de ponces volcaniques, etc. C'est évidemment le résidu, peu abondant d'ailleurs, de précipitations chimiques, de cendres volcaniques très fines, de poussières cosmiques, etc.

En seconde ligne comme étendue, on trouve la *vase à globigérines*, qui se rencontre encore sur d'immenses surfaces, particulièrement dans l'Atlantique, mais occupe des profondeurs moindres, de 500 à 5,500 mètres seulement. Elle est formée essentiellement de foraminifères, qui pullulent à la surface des eaux tièdes, et dont les carapaces calcaires se déposent lentement au fond. On y trouve aussi des granules attribuables à des algues calcaires, puis des parties glauconieuses ou siliceuses attribuables à des diatomées.

Enfin les *vases siliceuses* à radiolaires et diatomées, qui sont moins étendues, se rencontrent au contraire aux plus grandes profondeurs, jusqu'à 8,000 mètres.

Tous ces dépôts abyssaux actuels sont extrêmement pauvres en organismes macroscopiques : quelques rares petites coquilles rabougries et sans couleurs et quelques os de cétacés ou de grands poissons, voilà le principal.

Les abîmes des océans doivent avoir été rarement émergés, depuis que nos continents sont esquissés. Aussi ne connaît-on aucun représentant du type abyssal dans les terrains de l'ère tertiaire. Plus anciennement, il existe quelques formations qui présentent de l'analogie avec les sédiments actuels, que je viens d'énumérer, soit par leurs micro-organismes constitutifs (foraminifères et radiolaires) et l'extrême rareté des fossiles macroscopiques, soit par la fréquence des rognons siliceux disséminés dans le calcaire, ou leur teinte rouge prédominante.

Voici les faciès qui, en raison de ces analogies, me semblent pouvoir être attribués hypothétiquement au type abyssal :

a) *Faciès rubigineux*. Argiles ou marnes rouges presque azoïques, comme certaines argiles rutilantes du midi de la France, et peut-être le Crétacique rouge des Préalpes romandes, lequel ne contient, en fait de fossiles, que de rares *Inoceramus* et quelques dents de squales.

Digitized by Google

b) *Faciès crayeux à silex.* Certains bancs de craies sont très pauvres en fossiles, mais d'autant plus riches en silex.

La présence de rares bélemnites serait une confirmation; car ces corps durs et lourds ont dû aller au fond lors de la putréfaction du mollusque. Le *Sewerkalk* de la Suisse allemande est peut-être aussi dans le même cas. Formé de foraminifères, on n'y rencontre que très exceptionnellement *Belemnitella mucronata* et *Ananchytes ovata,* celui-ci sur des points où la mer était peut-être moins profonde. Ce qui m'en donne l'idée, c'est l'uniformité du dépôt, qui représente certainement tout le Crétacique moyen et supérieur, sans distinction possible d'étages.

c) *Faciès silicéo-calcaire.* Je range dans la même catégorie les calcaires gris à bancs silicieux ou à lentilles siliceuses irrégulières, si fréquents dans les Alpes suisses, qui ne contiennent presque aucun fossile, sauf quelques rares bélemnites et aptychus, et qui représentent *in globo* l'ensemble du Malm.

d) *Faciès siliceux.* Mais ce qui me paraît le plus probablement abyssal, ce sont ces roches siliceuses compactes (*Kieselschiefer*, lydite) dans lesquelles le microscope a révélé de nombreux radiolaires, des spicules de spongiaires, etc. On en a signalé surtout dans les époques anciennes, (Silurique, Dévonique), depuis lesquelles le relief du sol s'est considérablement modifié, ce qui a pu amener à la surface le fond des océans d'alors.

J'ai groupé de mon mieux, dans ces neuf types de formations, les principaux faciès connus, mais je ne me dissimule pas qu'il règne encore beaucoup d'incertitude, non pas tant dans la définition de ces types, qui me paraissent assez naturels et logiques, mais dans l'interprétation des faciès de nombreuses formations locales. A ce sujet, il y aura sans doute beaucoup à rectifier dans mes tableaux. C'était inévitable dans un travail synthétique sur un sujet aussi peu étudié jusqu'ici.

J'espère néanmoins que ce premier essai de classement homotypique général pourra rendre des services, soit en montrant la grande variété des faciès et leur distribution aux différentes époques, soit en attirant l'attention sur l'importance de l'hétérotypie, et en provoquant des critiques raisonnées sur les points fautifs. Ces critiques, je les souhaite et les réclame; car c'est le seul moyen de faire progresser les études stratigraphiques et de nous procurer une synthèse des temps géologiques.

Digitized by Google

ÉCHELLE CHRONOGRAPHIQUE DES TERRAINS

Il me reste à expliquer les principes qui m'ont guidé dans le groupement hiérarchique des terrains et dans leur nomenclature.

Toute classification présente nécessairement quelque chose d'artificiel, parfois d'arbitraire : tout spécialement un groupement stratigraphique général. D'une part, les événements géophysiques et biologiques n'ont pas été partout les mêmes, et leur enchainement a varié suivant les pays. De l'autre, les coupures que l'on est forcé d'établir dans toute classification sont beaucoup trop absolues, et l'on ne peut pas tenir compte suffisamment des transitions graduelles.

Malgré ces inconvénients, les classifications sont indispensables, celle des terrains comme les autres. Si l'on veut se former une idée claire de la succession des temps géologiques, on ne peut pas se contenter des groupements stratigraphiques régionaux ; on doit les comparer entre eux. Mais, comme le montrera le *Répertoire* qui va suivre, les dénominations locales sont si nombreuses qu'il est impossible de les connaître toutes.

Il faut pouvoir les rapporter à un étalon commun, conventionnel, aussi éclectique que possible, toujours perfectible, fondé sur des principes généraux et non sur des circonstances locales. Il est évident qu'une telle classification générale des terrains devra se baser essentiellement sur les régions dont la stratigraphie est la mieux connue, la plus complètement étudiée, mais devra tenir compte aussi des autres contrées, où les récentes études révèlent des circonstances différentes. C'est ici que la considération des faciès rendra de grands services.

C'est une semblable synthèse que je me suis efforcé de réaliser. Je ne voudrais limiter en rien la liberté scientifique. Je n'ai absolument pas le désir de voir couler dans le même moule les classifications stratigraphiques des divers pays. J'ai voulu seulement offrir à celles-ci un terme commun de comparaison, un *standard*, un étalon conventionnel pour la mesure des temps géologiques. Pour cela, tout en me basant sur des principes généraux rationnels, j'ai cherché à tenir compte éclectiquement des différents points de vue nationaux ou individuels.

Digitized by Google

GROUPEMENT HIÉRARCHIQUE.

Conformément aux règles admises au Congrès international de Bologne (1), j'ai adopté quatre ordres de subdivisions, subordonnées les unes aux autres, et d'une valeur extensive décroissante.

Abstraction faite des temps archéiques, mal définis et peu appréciables, vu l'absence de documents biologiques, j'ai distingué :

3	div. de	1er	ordre	: ÈRES	= Groupes; de valeur universelle;
8	»	2e	»	: PÉRIODES	= Systèmes; valeur très générale encore;
29	»	3e	»	: ÉPOQUES	= Séries; valeur plutôt européenne;
74	»	4e	»	: AGES	= Étages; valeur seulement régionale.

Quant au cinquième ordre (sous-étages ou assises), prévu également à Bologne, il n'a plus qu'une valeur purement locale, et j'en ai fait abstraction dans la classification générale.

J'ai cherché à donner aux étages une amplitude aussi équivalente que possible, en me basant pour cela sur l'évolution biologique, qui me paraît le seul moyen rationnel de mesurer les temps.

Pour cette mesure, beaucoup d'auteurs se sont basés sur l'épaisseur des sédiments. C'est là un élément essentiellement accidentel et variable, suivant les lieux et les faciès, et il me paraît absolument illusoire d'y chercher une base chronométrique.

C'est aussi sur les relations biologiques, principalement, que je fais reposer le groupement hiérarchique des subdivisions, et non point sur les grands mouvements de transgression, comme le fait M. de Lapparent et en général l'école française. Les mouvements d'exhaussement et d'affaissement du sol sont des phénomènes accidentels, qui n'ont affecté que des régions restreintes, et dont les effets se sont produits à des moments différents selon les pays. Les transgressions et les régressions des mers ont dû exercer une grande influence sur la stratigraphie régionale, mais n'ont pas le caractère de généralité voulu pour une classification internationale. Il faut remarquer toutefois que ces mouvements du sol influent sur la distribution géographique des êtres, et par conséquent aussi sur la modification des faunes et des flores; mais ce n'est là qu'une action indirecte. La seule base logique de classification stratigraphique internationale me paraît donc être la base paléontologique.

(1) *Compte rendu du Congrès géologique de Bologne*, 1881, pp. 92-122.

Digitized by Google

NOMENCLATURE.

Pour une classification générale, il importe d'avoir une nomenclature claire, bien définie, utilisable dans toutes les langues, sans traduction, mais avec de simples modifications conformes au génie de chaque langage. La méthode qui consiste à prendre pour base les noms géographiques, en leur adjoignant une désinence homophone, modifiable suivant les langues, se répand de plus en plus, et je la crois excellente. En conséquence, pour tenir compte de critiques justifiées, j'ai renoncé à certains noms tirés de fossiles (Opalinien, Cymbien, etc.), qui ne manquaient pourtant pas de précision. J'ai également abandonné les noms vulgaires ou pétrographiques (Culm, Houiller, Corallien), qui se rapportent plutôt à des faciès régionaux. Ces termes trouveront leur emploi dans les nomenclatures locales, où tous les noms pétrographiques ou paléontologiques ont leur raison d'être, pourvu qu'ils aient une signification juste dans la contrée où ils sont en usage.

Il serait même à désirer qu'on s'en tînt dans la stratigraphie locale aux noms *paléonto-pétrographiques* (ex. : calcaire à..., grès à... tel et tel fossile, réellement habituel dans la localité), plutôt que de créer pour des faciès locaux, d'âge souvent incertain, de nouveaux termes homophones, qui ne disent rien par eux-mêmes et qui encombrent la synonymie.

D'autre part, pour la nomenclature générale, les noms d'origine géographique me paraissent décidément les meilleurs, mais, pour désigner les étages, on devrait toujours partir de gisements classiques connus, bien définis par leur faune (p. ex. : Bartonien, Barrémien, Bajocien, Raiblien, Wenlockien), et non pas prendre pour type des régions étendues, où sont représentés plusieurs étages, que ces noms soient empruntés à l'antiquité où à la géographie actuelle (ex. : Ouralien, Juvavien, Norien, Ladinien). De tels noms sont très convenables pour désigner de grandes périodes (Silurique, Jurassique), mais manquent décidément de précision pour les subdivisions de quatrième ordre.

Dans les choix que j'ai dû faire entre de nombreux synonymes, je me suis réglé autant que possible sur la *loi de priorité*, toutes les fois que les noms les plus anciens étaient suffisamment clairs et précis, ou

Digitized by Google

consacrés par l'usage, et que leur point de départ n'était pas décidément fautif.

Certains auteurs sont à cet égard trop restrictifs et voudraient exclure de la nomenclature générale les dénominations basées sur des formations terrestres (p. ex. : Stéphanien, Lodévien, Pontien), et n'acceptent pour base que des types marins. Cette restriction ne me paraît pas justifiée. L'essentiel est que le type du nom soit précis et bien connu. On prend parfois ce prétexte pour créer de nouvelles dénominations, qui ne valent pas les anciennes. Gardons-nous de cette manie de faire des noms nouveaux, là où ce n'est pas absolument nécessaire pour désigner des choses réellement nouvelles. Je puis certifier que j'ai suivi moi-même ce précepte. Dans ma première édition, j'avais créé un petit nombre de termes indispensables, mais dans mes tableaux actuels, sur plus d'une centaine de noms, je n'en propose qu'un seul nouveau, celui de Prépliocène, qui se comprend de lui-même et dont je dirai plus loin la raison d'être.

Quant aux désinences homophones, j'estime de la plus grande utilité de leur donner un sens précis, pour caractériser les divers ordres de divisions, et de ne pas les employer indifféremment pour l'un ou l'autre ordre. Cet emploi méthodique a une grande importance pour l'enseignement et ne limitera en rien la liberté scientifique, car ceux qui auraient des raisons pour attribuer une autre valeur ordinale à un nom de terrain, n'ont qu'à changer sa désinence. C'est une mesure de bon ordre, qui a l'avenir pour elle et que la routine seule pourrait repousser.

Tenant compte des usages les plus répandus, j'ai employé les désinences suivantes :

1er ordre ...**aire** = ...**ăr** (allem.) = ...**ary** (angl.) = ...**ario** (ital., etc.);
2e » ...**ique** = ...**isch** (all.) = ...**ic** (anglais) = ...**ico** (ital., etc.);
4e » ...**ien** = ...**ian** (allemand et anglais) = ...**iano** (ital., etc.).

Pour le troisième ordre de subdivisions, qui est d'une importance moindre et pour lequel l'usage n'a pas encore consacré une désinence uniforme, je n'ai pas voulu en introduire une artificiellement. Dans le Tertiaire, la désinence ...**cène** est en usage et va très bien. Dans le Secondaire et le Primaire, on emploie généralement la désinence ...**ien**, qu'il vaudrait mieux pouvoir réserver au quatrième ordre. Il y a là une lacune de langage que l'avenir comblera peut-être. Je m'estimerais

Digitized by Google

déjà heureux si mon Chronographe pouvait contribuer à généraliser l'emploi méthodique des trois désinences ci-dessus.

Deux points de vue inverses règnent quant à la valeur des divisions de premier ordre.

Alcide d'Orbigny en avait fait complètement abstraction. Il divisait immédiatement en Périodes, et admettait au même rang les Périodes crétacée, jurassique, triasique et paléozoïque. Il subdivisait cette dernière en quatre étages : Permien, Carboniférien, Dévonien et Silurien; donnant à ceux-ci la même valeur ordinale qu'aux étages jurassiques : Bajocien, Bathonien, Callovien, etc. Il admettait de même une seule Période pour tout le Tertiaire, ce qui pourrait déjà mieux se comprendre. C'était évidemment une exagération de la valeur des temps secondaires, par rapport aux autres.

A l'opposite se placent divers géologues anglais et américains, qui, influencés par le rôle considérable que jouent chez eux les terrains anciens et par la grande épaisseur qu'ils y atteignent, voudraient leur attribuer une valeur au moins égale aux temps secondaires et tertiaires réunis. M. Lapworth, entre autres, préconise le groupement suivant :

Néozoïc, subdivisé en { CAÏNOZOÏC = Tertiaire.
MÉSOZOÏC = Secondaire.

Paléozoïc, subdivisé en { DEUTOZOÏC = Dévonique + Carbonique.
PROTOZOÏC = Silurique (av. Cambrien).

Entre deux points de vue aussi contradictoires, sur la valeur attribuable aux subdivisions des temps organiques, j'avais déjà pris dans ma première édition, avec la grande majorité des auteurs modernes, une position intermédiaire. Je n'ai pas de raison pour m'en départir, car je me trouve d'accord en cela avec la plupart des traités récents, entre autres ceux de MM. Geikie, Prestwich, de Lapparent, Kayser, etc.

Je conserve donc, comme précédemment, trois divisions de premier ordre :

PRIMAIRE OU PALÉOZOAIRE, SECONDAIRE OU MÉSOZOAIRE,
TERTIAIRE OU CÉNOZOAIRE,

précédées d'une division d'ordre douteux, qui même pour le plus grand nombre serait *anté-organique :* ARCHÉIQUE.

Je passe à la justification des subdivisions que j'ai admises, et de leur nomenclature, en remontant la série des temps, des plus récents aux plus anciens.

Digitized by Google

Ère tertiaire ou CÉNOZOAIRE.

Je dis *Cénozoaire,* et non Cénozoïque, comme c'est l'usage, afin de caractériser par la désinence ...*aire* la valeur ordinale de la division. D'autre part, je préfère la forme douce *Céno*... au radical dur *Kaïno*... C'est d'ailleurs plus conforme à la construction des mots Plio*cène,* Mio*cène,* Éo*cène,* etc. La racine étant la même, si l'on dit *Kaïno*zoaire, il faudrait dire aussi Plio*kaïne*, etc.

Comme je le faisais déjà dans ma première édition, je comprends dans l'Ère tertiaire les Époques plistocène et actuelle. Pour légitimer ce point de vue, qui me paraît de plus en plus juste, je reproduis ce que je disais à ce sujet dans mon texte explicatif de 1874 (1).

« Il n'y a aucune modification organique importante entre le Tertiaire (anc. style) et le Quaternaire. Fort peu de types disparaissent. Seuls les Mastodontes cessent en Europe, mais ils persistent en Amérique. Il n'y a guère d'apparition nouvelle, sinon l'homme, et encore son existence dans le Pliocène d'Italie et de Belgique est-elle affirmée par plusieurs. Les genres se continuent presque tous les mêmes; un grand nombre d'espèces (de mollusques) passent de l'un à l'autre. Quelle différence, au contraire, entre les faunes et flores des Ères primaire, secondaire et tertiaire! Les types organiques qui les composent sont éminemment différents, et quoiqu'on puisse s'attendre à voir les limites de ces trois Ères s'effacer de plus en plus, celles-ci n'en resteront pas moins trois divisions primordiales, parfaitement naturelles au point de vue paléontologique.

» Du reste, cette opinion me paraît de plus en plus partagée par les paléontologistes. Mon maître regretté, F.-J. Pictet, l'exprimait déjà en 1857 (2). M. Gervais est encore beaucoup plus explicite quand il dit (3) :

« L'époque que l'on continue, *on ne sait trop pourquoi,* à appeler » Quaternaire, comme si elle constituait une nouvelle grande série de » faunes et de flores... »

» J'ajoute que les usages sont très divers sur ce point : Alc. d'Or-

(1) *Bulletin Soc. vaudoise des sciences naturelles.* XIII, p. 232.
(2) *Traité de paléontologie,* IV, p. 703.
(3) *Bulletin géologique Fr.,* 2de s., XIX, p. 95.

Digitized by Google

bigny et M. C. Mayer laissent à part l'époque actuelle, mais joignent l'Époque quaternaire au Tertiaire. Lyell et M. Gaudry terminent le Tertiaire au-dessus du Plistocène à *Elephas meridionalis*, c'est-à-dire au milieu du Quaternaire de la plupart des auteurs. Naumann enfin subdivise le Cénozoïque en Quartär et Tertiär. Ces divergences confirment ma thèse qu'il n'y a point là de division primordiale naturelle. »

Depuis lors cette question a fait l'objet d'une intéressante discussion au Congrès de Londres (1).

Mon point de vue y a été soutenu par M. Blanford et combattu par divers confrères. Les arguments que l'on m'a opposés ne m'ont point convaincu. Les uns sont basés sur les changements physiques du sol européen : creusement des vallées, empiètement des glaciers, etc.; changements dont le point de départ est probablement bien antérieur au soi-disant Quaternaire. La principale objection consistait dans l'apparition de l'homme, dont le moment est bien loin d'être certain, puisque plusieurs découvertes reporteraient cet événement à l'époque pliocène.

Plus je vais de l'avant, plus je suis persuadé que ce que l'on appelle Quaternaire, ce sont les formations terrestres de l'Époque pliocène, s'étendant jusqu'à maintenant, c'est-à-dire l'ensemble des temps représentés par mon tableau I.

L'usage paraissant prévaloir, de plus en plus, de subdiviser l'Ère tertiaire seulement en *deux* Périodes, je m'y suis conformé dans mes nouveaux tableaux; mais pour rester d'accord avec les trois couleurs consacrées par la carte internationale d'Europe, j'ai réparti la Période néogénique sur deux feuilles.

PÉRIODE NEOGÉNIQUE.

Au nom de Néogène, usité maintenant pour désigner le groupement des temps Pliocène et Miocène, j'ajoute par motif d'ordre hiérarchique la désinence de second ordre ...*ique*.

En raison de sa répartition sur deux tableaux, imprimés sur des papiers jaunes de nuances différentes, j'ai dû subdiviser le Néogénique en deux Sous-périodes :

(1) *Compte rendu*, quatrième session, p. 233.

Digitized by Google

a) **NÉOGÉNIQUE RÉCENT**. Tableau I, jaune pâle, subdivisé en :

NÉOGÉNIQUE RÉCENT.	**Holocène** (Gerv. 187?) [tout à fait récent]	**Actuel.** **Palafittien.**
	Plistocène (Lyell 184?) [beaucoup plus récent]	**Acheulien** (Mortil. 1878). **Durnténien** (May.-Ey. 1881). **Sicilien** (Doderl. 1872).
	Pliocène (Lyell 1833) [plus de récent]	**Astien** (Rouv. 1853). **Plaisancien** (May.-Ey. 1857).

Je ne veux pas expliquer ici toutes ces subdivisions et dénominations; je renvoie pour cela au *Répertoire*. Je dois seulement insister sur quelques points litigieux, de méthode ou de taxinomie.

Je dis **Plistocène** et non *Pleistocène,* comme l'usage s'en est abusivement introduit, parce qu'on dit *Pliocène*. La racine du premier étant le superlatif de celle du second, il faut les interpréter de la même manière. Il serait peut-être plus étymologique de dire *Pleistocène,* mais alors il faudrait dire *Pleiocène* et *Meiocène;* en agir autrement est illogique.

Le **Sicilien** est classé par MM. Munier-Chalmas et de Lapparent dans le Pliocène, et non dans le Plistocène, comme on le fait généralement. Le fait est que c'est un étage de transition. Ce qui me l'a fait adjoindre au Plistocène, c'est son synchronisme presque certain avec une ancienne extension des glaciers.

Du reste Sicilien est défini par ces auteurs de deux manières différentes. Dans la troisième édition du *Traité de géologie,* M. de Lapparent lui donne un sens restreint, comme dans mon tableau I. Au contraire, dans leur classification de 1894 (1), ces deux auteurs lui donnent un sens extensif, en y assimilant la faune du Val d'Arno à *Mastodon arvernensis,* tandis qu'ils laissent dans l'Étage astien le Fossanien de Sacco, qui contient absolument la même faune.

Il y a là des difficultés de parallélisme qui devront être résolues par de nouvelles études. C'est un des rares points où, bien à contre-cœur, je n'ai pas pu m'accorder entièrement avec mon collègue de Lyon, M. le professeur Depéret, dont j'ai en général suivi les idées, pour tout ce qui concerne les faunes mammalogiques. Pour des terrains dont les plus beaux types sont en Italie, je n'ai pas cru devoir trop m'écarter du point de vue des stratigraphes italiens.

(1) *Bull. Soc. géol. de France,* 3e sér., XXI, p. 488.

Digitized by Google

b) **NÉOGÉNIQUE ANCIEN.** Tableau II, sur papier jaune vif.

C'est à peu près l'équivalent du Molassique de mes anciens Tableaux. Je le divise en :

NÉOGÉNIQUE ANCIEN.	**Prépliocène** (Rnv. 1896) . . . [précédant le Pliocène]	**Pontien** (Marny 1869).
	Miocène (Lyell 1833) . . . . . [moins de récent]	**Tortonien** (May.-Ey. 1857). **Helvétien** (May.-Ey. 1857). **Burdigalien** (Depér. 1892). **Aquitanien** (May.-Ey. 1857).

Je dois m'expliquer ici sur divers points :

L'étage supérieur, Pontien, forme un trait d'union entre le Pliocène et le Miocène. Il possède une faune mammalogique spéciale, à caractère intermédiaire ; aussi est-il classé par l'école anglaise et allemande à la base du Pliocène et par l'école française au sommet du Miocène. J'ai cherché à rendre cette position intermédiaire en lui faisant entre les deux une place à part, justifiée par l'indépendance et l'importance de sa faune à *Hipparion*. En le plaçant dans le Tableau II, je l'ai rapproché du Miocène, mais j'ai voulu manifester son affinité aux étages supérieurs par le nom de **Prépliocène**, qui me paraît plus heureux que celui de Mio-Pliocène, employé dans la même intention par divers auteurs. L'inconvénient, c'est d'en faire une Époque, représentée par un seul Age ou Étage ; mais comme les formations marines en sont encore fort mal connues, il se peut que par la suite celles-ci donnent lieu à une subdivision ou, au contraire, provoquent son rattachement définitif à la série supérieure, ou à l'inférieure.

Quant au nom de **Pontien**, il a été critiqué, comme basé sur des formations estuariales. Le nom de Messinien, employé par M. Mayer-Eymar, n'aurait pas cet inconvénient et serait plus ancien ; mais il paraît douteux que les couches marines de Sicile, sur lesquelles ce nom est basé, soient homotaxes du Pontien.

MM. de Lapparent et Munier-Chalmas placent en dessous du Pontien un Étage sarmatien. Je ne l'ai point admis, par la raison que les couches à *Cerit. pictum*, sur lesquelles il est basé, paraissent n'être qu'un faciès estuarial de la partie supérieure du Tortonien. Ici, comme pour le Miocène en général, j'ai suivi les conseils de M. Depéret.

C'est encore pour me conformer aux idées de mon collègue de Lyon que j'ai remplacé le nom si connu de Langhien par celui de **Burdigalien**, proposé par lui, et adopté par le service de la carte géologique

Digitized by Google

de France. Cette substitution est motivée sur le fait, affirmé par M. Depéret, que les marnes blanches à ptéropodes des Langhe, type du Langhien, appartiennent à un niveau plus élevé. Du reste, la mollasse d'eau douce inférieure, que seule nous appelions, en Suisse, Langhien, ne correspond qu'à la partie inférieure du Burdigalien. La partie supérieure de cet étage est représentée chez nous par le *Muschelsandstein*, que mes précédents tableaux confondaient avec l'Helvétien.

Vient enfin la question de l'**Aquitanien**, qui se trouve à la limite des Périodes néogénique et nummulitique, à l'une ou l'autre desquelles il est réuni suivant les auteurs. Ici je me suis vu obligé de me séparer de mon excellent guide, M. Depéret, qui, avec l'école allemande, réunit cet étage à l'Oligocène. Je me suis peut-être laissé impressionner par nos formations régionales de la Suisse, et du pied nord-ouest des Alpes en général, mais il m'a paru difficile de séparer l'Aquitanien de notre série mollassique, pour le rejeter dans la Période nummulitique, dont son faciès habituel est si parfaitement différent. J'ai donc adopté de préférence le point de vue de M. le Dr Fallot, directeur du musée de Bordeaux, qui vit au milieu des plus beaux types marins de l'Aquitanien et préconise leur rattachement au Miocène.

Je suis prêt à reconnaître toutefois que c'est encore là un de ces étages transitifs, qu'il faudrait laisser flottant aux confins de deux Périodes.

PÉRIODE NUMMULITIQUE.

Dite aussi *Éogène*. Tableau III, sur papier jaune foncé.

En plaçant au-dessous de l'Aquitanien la ligne de séparation entre les deux Périodes tertiaires, j'ai conservé au Nummulitique les limites qu'il avait déjà dans mes anciens Tableaux. Je maintiens également ce nom de Nummulitique, qui est parfaitement approprié, très caractéristique, plus ancien et beaucoup mieux connu que la dénomination qui lui a été substituée par divers auteurs. Éogène a en outre le grave inconvénient de se confondre facilement avec Éocène, et de plus d'avoir une étymologie absurde. Je comprends Néogène (nouvellement formé), mais Éogène (aurore formée), c'est ridicule ! On aurait dû dire Paléogène, mais ici encore il y aurait trop de similitude avec Paléocène et Paléozoïque. Pourquoi donc ne pas conserver le bon vieux nom de Nummulitique, bien distinct, rigoureusement exact, et homophone avec les autres noms de périodes ?

Digitized by Google

La période nummulitique se subdivise très naturellement en trois Époques, comme suit :

NUMMULITIQUE.	Oligocène (Beyrich 1855) . . . [peu de récent]	**Rupélien** (Dumont 1849). **Tongrien** (Dumont 1839).
	Éocène (Lyell 1833) . . . . . [aurore du récent]	**Bartonien** (May.-Ey. 1865). **Lutétien** (Lappar. 1883).
	Paléocène (Schimper 1874) . . [Éocène ancien]	**Suessonien** (Orb. 1852). **Thanétien** (Rnv. 1873). **Montien** (Dewalque 1868).

A part l'étage inférieur, qui résulte de découvertes récentes, ce sont les mêmes divisions que dans mon tableau de 1873, mais avec des noms pour la plupart différents, nécessités par les raisons que je vais énumérer.

Pour les divisions de troisième ordre, j'ai substitué aux dénominations en ...*ien* de d'Orbigny, les expressions très répandues maintenant de Oligocène, Éocène, Paléocène, homophones aux noms d'époques du Néogénique.

Par suite de la place attribuée à l'Aquitanien, l'Oligocène se trouve réduit à deux étages, pour lesquels j'ai adopté la terminologie belge et allemande, décidément plus ancienne et mieux appropriée. En effet, **Rupélien** date de 1849, et son synonyme Stampien seulement de 1853. Le premier nom est basé sur le type bathyal, le second sur le type littoral de l'étage.

Quant à **Tongrien,** créé par Dumont en 1839, pour désigner l'ensemble de l'Oligocène plus le Boldérien, il fut restreint par le même auteur en 1849 à l'Oligocène inférieur seul. C'est dans ce sens qu'il est employé en Belgique et en Allemagne, pour désigner l'étage des gypses de Montmartre, c'est-à-dire le Sannoisien et la majeure partie du Ludien de Munier-Chalmas et de Lapparent; c'est le Sestien de Rouville et de mon Tableau de 1873, en même temps que le Ligurien de Mayer-Eymar. C'est donc à tort que d'Orbigny a transporté ce nom à l'Oligocène supérieur et moyen, à l'exclusion des gypses, qu'il laissait dans son Parisien (Éocène).

Entre le Tongrien (*s. str.*) et le Bartonien, je ne vois pas qu'il y ait place pour un étage Ludien. Si plus tard on en reconnaissait la nécessité, il devrait être formé aux dépens du Bartonien supérieur, et comprendrait le calcaire de Saint-Ouen.

Le **Bartonien** a le privilège d'être admis dans toutes les classifica-

Digitized by Google

tions modernes. C'est comme un pilier inébranlable, qui n'est pas sujet à contestation.

Quant au **Lutétien**, il n'est pas discuté non plus. C'est l'âge du calcaire grossier de Paris = Parisien inf. de d'Orbigny. On lui a seulement donné un nom plus précis (*Lutetia* est le nom ancien de Paris). Dans mon tableau de 1873, je l'avais désigné par le nom belge de Bruxellien, qui est moins approprié, puisqu'il ne correspond qu'au calcaire grossier inférieur. J'y renonce volontiers, les Parisiens paraissant s'accorder pour employer le terme Lutétien.

La limite entre l'Éocène et le Paléocène n'est pas toujours fixée au même niveau. Je m'en suis tenu à l'usage français et anglais. M. von Kœnen descend un peu cette limite et comprend encore dans l'Éocène le London-clay et les sables de Cuise. La légende de la carte géologique de Belgique restreint le nom de Paléocène à l'Étage montien seul.

Pour l'étage supérieur du Paléocène, je reprends le nom de **Suessonien** de d'Orbigny, qui est le plus ancien. Je ne vois pas de raison pour le démembrer, comme font MM. Munier et de Lapparent, en Yprésien et Sparnacien, lesquels ne sont en définitive que deux faciès d'un même étage; non plus que pour le remplacer par le Londonien de M. Mayer-Eymar, comme je l'avais fait dans ma première édition.

Le **Thanétien** paraît participer au privilège d'être accepté par tous.

Enfin, quant au **Montien**, son introduction a été rendue nécessaire par la découverte, relativement récente, à la base du Tertiaire belge, du calcaire grossier de Mons, si analogue à celui de Paris, quoique bien plus ancien. La plupart des auteurs y assimilent le calcaire pisolitique de Paris, dont la faune est encore très mal connue, mais paraît s'en rapprocher.

MM. de Lapparent et Munier-Chalmas placent le Montien à la fin du Crétacique, à titre de Danien supérieur, mais cette manière de voir est repoussée énergiquement par tous les géologues belges et par la plupart des Parisiens. Si la place du calcaire pisolitique peut sembler discutable, celle du calcaire de Mons, dont la faune a été si bien décrite et figurée par MM. Cornet et Briart, paraît incontestablement appartenir à la base du Tertiaire. Toutefois il y a là encore un indice de transition entre les deux Ères tertiaire et secondaire.

Digitized by Google

Ère secondaire ou MÉSOZOAIRE.

A part la divergence de détail que je viens de mentionner à propos du Montien, on est très généralement d'accord sur les limites de l'Ère secondaire, qu'on subdivise habituellement en trois périodes : Crétacique, Jurassique et Triasique.

PÉRIODE CRÉTACIQUE.

Malgré l'usage ancien de dire Crétacé, j'applique à ce nom la désinence ...*ique* des divisions de deuxième ordre. Cette méthode se répand graduellement, et j'espère qu'elle finira par prévaloir sur l'usage traditionnel.

Le Congrès de Bologne a consacré la couleur verte pour représenter le Crétacique, mais en admettant l'emploi de nuances diverses pour les subdivisions. Vu l'importance de cette période et son nombre d'étages, je l'ai répartie sur deux tableaux, l'un vert clair et l'autre vert foncé.

a) **CRÉTACIQUE RÉCENT**. Tableau IV, sur papier vert clair.

Beaucoup d'auteurs coupent ainsi la Période crétacique en deux moitiés, mais ils placent souvent la ligne de séparation au-dessus de l'Albien. J'estime, au contraire, que l'Étage albien a ses principales affinités paléontologiques, non avec le Néocomien, mais avec le Cénomanien, et forme avec lui une Série crétacique moyenne très naturelle (1), assez distincte de la Série crétacique supérieure ou Sénonien (*s. lat.*). Le seul point sur lequel j'aie hésité, c'est la place à attribuer, dans l'une ou dans l'autre, au Turonien, qui leur sert de transition.

Je me suis arrêté au groupement suivant :

CRÉTACIQUE RÉCENT.	sup. ou **Sénonien** (Orb. 1843)	**Danien** (Desor 1850). **Campanien** (Coq. 1857). **Santonien** (Coq. 1857). **Turonien** (Orb. 1843).
	moy. ou **Cénomanien** (Orb. 1852)	**Rotomagien** (Coq. 1857). **Vraconnien** (Rnv. 1867). **Albien** (Orb. 1842).

(1) Renevier, *Faune de Cheville*, p. 201 (Bull. vaud. sc. nat., IX, 1867).

Digitized by Google

La nomenclature ci-dessus est celle de d'Orbigny, complétée par Coquand et généralement usitée en France; mais je supprime quelques-uns des étages de ce dernier, qui n'avaient que la valeur de faciès.

Quant aux divisions, voici quelques explications.

Danien Je conserve à cet étage l'extension que son auteur Desor lui avait donnée. J'y comprends en conséquence les deux sous-étages Garumnien et Maestrichtien.

Campanien. C'est le niveau fort bien connu de la craie à Bélemnitelles de Meudon, de Champagne, etc., bien défini par Coquand. Je ne comprends pas que MM. Munier-Chalmas et de Lapparent aient abusivement remplacé ce nom par celui de Aturien, sans tenir aucun compte de la loi de priorité. Si chaque auteur voulait substituer ainsi, selon sa fantaisie, de nouveaux noms aux anciens, sous prétexte de légères modifications de limites, nous aboutirions à la Tour de Babel.

Santonien. Même observation relativement au nouveau nom de Emschérien, des mêmes auteurs. Ils réunissent, il est vrai, sous ce vocable malsonnant, les deux étages de Coquand : Santonien et Coniacien; mais il y a longtemps qu'on avait proposé cette réunion sous le nom du plus important des deux, Santonien. Cotteau en usait ainsi dans la Paléontologie française. J'avais consacré la même contraction dans mon tableau crétacé de 1873. Beaucoup d'autres auteurs avaient agi de même. Il n'y avait absolument pas lieu à introduire une nouvelle dénomination.

Turonien Je conserve, comme la plupart des auteurs, cet ancien étage de d'Orbigny, comprenant les deux sous-étages de Coquand : Angoumien et Ligérien. On a signalé depuis quelques années ses affinités paléontologiques de plus en plus frappantes avec les étages supérieurs; c'est ce qui m'a décidé à le comprendre dans le Sénonien plutôt que dans le Crétacique moyen. Il joue en tout cas un rôle transitoire.

Rotomagien. Usant du mot Cénomanien (*s. lat.*) pour la série moyenne, j'ai naturellement recouru au nom créé par Coquand pour en désigner l'étage supérieur. Par contre, j'ai supprimé, comme étage, le Carentonien du même auteur, qui n'en est, au point de vue biologique, qu'une petite subdivision supérieure, sans importance et sans généralité.

Vraconnien. L'étage à *Schlœnbachia inflata,* méconnu au nord

Digitized by Google

de la France, où il est habituellement réuni au précédent, joue un rôle paléontologique si important dans le Jura (Vraconne), dans les Alpes (Cheville, etc.), en Allemagne (Flammenmergel), en Angleterre (Up. Greensand), et jusque sur la côte occidentale de l'Afrique, que je revendique pour lui le droit d'étage. Sa faune présente d'ailleurs, sur plusieurs points, beaucoup plus d'affinité avec celle de l'Albien qu'avec la faune du Rotomagien, de sorte qu'on le nomme très souvent Gault supérieur (1). C'est donc un Étage distinct, important par sa vaste extension, transitif entre le Rotomagien et l'Albien, et qui entraîne la réunion de ce dernier à la Série cénomanienne. Hébert avait parfaitement reconnu ce fait et l'a plusieurs fois proclamé.

Albien. Encore un étage de d'Orbigny qui a le privilège d'être conservé par tous les auteurs. Le nom de Gault, par lequel on le désigne très souvent, ne devrait être appliqué qu'à son type bathyal, tel qu'il existe au sud de l'Angleterre et sur la bordure occidentale du bassin de Paris.

b) **CRÉTACIQUE ANCIEN.** Tableau V, sur papier vert foncé.

Le Crétacique inférieur, généralement connu sous le nom de Néocomien (*s. lat.*), forme paléontologiquement un groupe très naturel. L'importance de cette époque a poussé quelques auteurs à en faire une Sous-période, on même une Période à part. Si cette idée venait à prévaloir, on pourrait le nommer Néocique, pour lui appliquer la désinence de second ordre et le distinguer du Néocomien (*s. str.*). Je me suis arrêté au groupement suivant :

CRÉTACIQUE ANCIEN.	URGONIEN *s. lat.* (Orb. 1850)	**Aptien** (Orb. 1842). **Rhodanien** (Rnv. 1854). **Barrémien** (Coq. 1861).
	NÉOCOMIEN *s. str.* (Thurm. 1835)	**Hauterivien** (Rnv. 1873). **Valangien** (Desor 1853). **Berriasien** (Coq. 1876).

J'emploie le terme **URGONIEN** dans un sens plus étendu que ne l'entendait Alcide d'Orbigny. Le grand massif calcaire d'Orgon, origine du nom, est reconnu maintenant comme le type récifal de tout le Néocomien supérieur, y compris l'Aptien. On ne peut donc plus employer Urgonien comme nom d'étage, mais je ne vois aucun inconvénient à conserver ce nom pour désigner les trois étages supérieurs, qui dans les Alpes et le Jura se présentent fréquemment sous ce faciès

(1) RENEVIER, *Faune de Cheville*, p. 195.

Digitized by Google

spécial, constituant une même masse calcaire difficile à subdiviser. C'est ce que Coquand avait nommé par contraction Urg-Aptien, nom que j'avais employé en 1873 à titre provisoire.

Aptien. Le type bathyal d'Apt, qui a donné son nom à l'étage, est relativement rare. Il me paraît indiscutable que cet étage est représenté en Provence, dans l'Isère, dans les Alpes suisses, etc., par la partie supérieure du calcaire urgonien (*Oberer Schrattenkalk*).

Rhodanien. Cet étage fut basé d'abord sur un type littoral, constaté à la Perte-du-Rhône, dans le Jura, la Haute-Marne, l'île de Wight, l'Espagne, etc. D'Orbigny le comprenait dans son Urgonien; Hébert de même; tandis que beaucoup d'auteurs le réunissent à l'Aptien. Sa grande extension géographique et l'intérêt de sa riche faune transitive légitiment la valeur d'étage que je lui attribue. M. de Lapparent (1) fait du Rhodanien un sous-étage supérieur du Barrémien, mais il place à la base de l'Aptien le Bedoulien, qui est le type pélagal du Rhodanien.

Barrémien. Coquand a donné ce nom au type pélagal de l'Urgonien inférieur. Nous en connaissons le type littoral dans le Jura, sous forme de marno-calcaire jaune à *Goniopygus peltatus* et *Pseudocidaris clunifera;* ainsi que le type récifal, calcaire blanc à *Requienia ammonia.*

Hauterivien. Étage supérieur du Néocomien (*s. str.*). Quoique sa valeur d'étage soit assez généralement reconnue, MM. de Lapparent et Munier-Chalmas n'en font qu'un sous-étage. C'est du reste affaire d'appréciation, suivant l'importance du développement local.

Valangien. Les Français écrivent en général Valenginien! En Suisse, où le nom a été créé, nous disons toujours Valangien. L'auteur de cet étage, Desor, emploie, il est vrai, les deux formes, mais Valanginien ne se trouve que dans le titre de sa notice (2), tandis qu'à la page 177 il dit positivement : « Je propose de le désigner sous le nom de Valangien. » Ce vocable est d'ailleurs plus bref, ce qui est un avantage. En tout cas la racine du nom est Valan....., non Valen.....

Berriasien. Coquand a donné ce nom aux calcaires de Berrias

(1) *Traité de géol.*, 3e édit., p. 1138.
(2) *Bull. sc. nat. Neuch.*, III, p. 172.

Digitized by Google

(Ardèche), dont la faune avait été mise en lumière par Pictet. Quelques auteurs veulent maintenant placer cette assise au sommet du Jurassique, dans le Portlandien (ou Tithonique). Avec Pictet, Kilian, etc., j'estime que sa faune a au contraire de plus grandes affinités avec le Valangien, tout en présentant un caractère transitoire entre les deux Périodes. Nous en connaissons le type littoral dans le Jura, où il est toujours appelé Valangien inférieur.

Je suis d'ailleurs assez disposé à admettre que le Purbeck supérieur d'Angleterre en est le type limmal.

PÉRIODE JURASSIQUE.

Dans ma première édition, j'avais distingué le Lias comme Période à part, selon l'usage de beaucoup d'auteurs, en Angleterre surtout. Au point de vue paléontologique, la question est discutable, mais, pour me conformer aux conventions du Congrès de Bologne, je les réunis maintenant en une seule Période, avec la couleur conventionnelle bleue. Vu le grand nombre des étages, je répartis ceux-ci sur deux tableaux de nuances différentes.

a) **JURASSIQUE RÉCENT**. Tableau VI, sur papier bleu clair.

C'est le Jurassique proprement dit, appelé souvent aussi Oolithique, terme pétrographique qui doit être rejeté, puisqu'on a des faciès oolithiques de tout âge. La plupart des auteurs modernes subdivisent cet ensemble en Malm et Dogger, mais on est loin d'être d'accord sur les limites de ces deux sections. Beaucoup d'auteurs font du Dogger l'exact correspondant du *Brauner Jura* de Quenstedt, et y comprennent par conséquent le Callovien et le Divésien. D'autres, au contraire, placent la ligne de démarcation sous le Callovien, ou entre lui et le Divésien. Plusieurs enfin admettent une subdivision moyenne, comprenant les étages Argovien, Divésien et Callovien. En raison de leurs affinités paléontologiques, je me suis arrêté à ce dernier parti, qui a en outre l'avantage de donner plus d'équivalence aux divisions de troisième ordre. J'ai désigné cette série moyenne par le terme Oxfordien, pris dans son sens large, tel qu'il a été entendu à l'origine, jusqu'en 1846. C'est alors que d'Orbigny en a détaché le Callovien, qu'il appelait en premier lieu Kellovien. Subséquemment, on a même restreint le nom de Oxfordien à l'étage supérieur seul. Vu ces variations, ce nom ne

Digitized by Google

peut plus être appliqué, sans confusion, à l'un des trois étages, mais il est excellent pour l'ensemble.

J'ai donc admis le groupement suivant :

JURASSIQUE RÉCENT ou proprement dit	MALM (Opp. 1858)	**Portlandien** (Brongn. 1829). **Kiméridgien** (Orb. 1847). **Séquanien** (Marcou 1848).
	OXFORDIEN (Brongn. 1829). . .	**Argovien** (Marcou 1848). **Divésien** (Rnv. 1874). **Callovien** (Orb. 1846).
	DOGGER (Opp. 1858)	**Bathonien** (Omalius 1843). **Bajocien** (Orb. 1846). **Aalénien** (May.-Ey. 1864).

Je n'ai que peu d'explications à donner relativement aux étages.

Portlandien. Je conserve le plus ancien nom donné à ce dernier étage du Jurassique; ce nom est basé sur le type littoral. Le nom de Tithonique en représente le type pélagal alpin; celui de Purbeckien, les types terrestres.

Kiméridgien. L'étage et le nom ne donnent lieu à aucune contestation. On écrit souvent Kimmé...., mais il paraît que c'est contraire à la vraie orthographe du nom géographique.

Séquanien. Cet étage correspond à peu près à l'ancien *Corallien* de d'Orbigny. Depuis qu'il a été reconnu qu'il y a des Coralliens (types récifaux coralligènes) à tous les niveaux du Malm, ce nom ne peut plus être conservé que comme nom de faciès. On a successivement détaché de l'étage les calcaires coralliens se rapportant à d'autres niveaux, et l'on a un peu élargi le sens du nom Séquanien, donné primitivement par M. Marcou aux calcaires astartiens. Je groupe ici trois étages de mon Tableau de 1874, qui ne sont que des faciès différents, à peu près de même âge. Le Rauracien paraîtrait, d'après les dernières études de M. Rollier, n'être que le type récifal de l'Argovien.

Argovien. Étage supérieur de la Série oxfordienne, auquel divers auteurs modernes, entre autres MM. de Lapparent et Munier-Chalmas, appliquent exclusivement le nom d'Étage oxfordien. Le type primitif de ce dernier nom est, au contraire, l'Oxford-clay, c'est-à-dire le Divésien; mais, comme je l'ai dit ci-dessus, ce serait une source de confusion de conserver Oxfordien comme nom d'étage.

Divésien. J'avais créé ce nom en 1874 pour l'étage moyen de la

Digitized by Google

série oxfordienne, comprenant l'argile de Dives, l'Oxford-clay et les *Ornatenthone*. Le sous-étage Neuvisyen de M. de Lapparent, c'est-à-dire le niveau à *Card. cordatum*, me paraît devoir s'y rattacher aussi, plutôt qu'à l'Argovien.

Callovien. Dans mon ancien Tableau, j'avais inscrit cet étage sous son nom primitif de Kellovien, que d'Orbigny avait créé en 1814, et changé deux ans plus tard en Callovien. La forme latine ayant prévalu, je me conforme à l'usage. L'étage n'est d'ailleurs contesté par personne.

Bathonien. D'Omalius, en créant ce nom, lui avait donné une acception plus étendue, — Dogger. C'est le sens que je lui avais conservé dans mon Tableau de 1874. En 1849, d'Orbigny avait restreint ce nom à l'étage supérieur du Dogger seul. Ce sens restreint ayant prévalu et étant généralement adopté, je m'y conforme, renonçant volontiers à la subdivision en Bradfordien et Vésulien, lesquels représentent plutôt deux faciès.

Bajocien. Étage moyen du Dogger, accepté sous ce nom dans toutes les classifications, mais dont la base, niveau à *Harp. Murchisonæ*, doit être détachée, selon l'avis de beaucoup d'auteurs.

Aalénien. Étage inférieur du Dogger, qui forme transition au Lias. Dans mon Tableau de 1874, je n'y avais compris que le niveau à *Harp. Murchisonæ*, laissant celui à *Harp. opalinum* au sommet du Lias. Depuis lors l'usage opposé m'a paru prévaloir; d'autre part, j'ai constaté dans les Alpes l'union intime, parfois même la fusion, de ces deux zones. Je me conforme donc à l'usage en les réunissant.

b) **JURASSIQUE ANCIEN ou LIASIQUE**. Tableau VII, sur papier bleu foncé.

Dans ma première édition, j'avais admis le Liasique comme division de second ordre. Tout en me conformant maintenant à l'usage, qui prévaut, de n'en faire qu'une Époque de la Période jurassique, je dois émettre des scrupules. J'ai l'impression très formelle qu'au point de vue paléontologique c'est une division plus importante, méritant de former au moins une Sous-période. La classe des reptiles n'y est-elle pas représentée par des types assez spéciaux; les Ammonites par des familles particulières et très différentes de celles du Jurassique!

Le Lias doit avoir eu une durée comparable à celle du Trias.

Les cinq étages que j'y distingue sont assez généralement adoptés.

Digitized by Google

Je les groupe selon leurs analogies en trois sections, pouvant avoir à peu près la valeur d'Époques.

JURASSIQUE ANCIEN OU LIASIQUE.	SUPRA-LIAS		**Toarcien** (Orb. 1849). **Pliensbachien** (Opp. 1858).
	LIAS pp. dit	ou	**Sinémurien** (Orb. 1849).
	INFRA-LIAS		**Hettangien** (Rnv. 1864). **Rhétien** (Gümb. 1861).

Le Lias originel anglais correspond presque exactement à l'Étage sinémurien de d'Orbigny. Cet auteur a méconnu ce fait, et voulant donner des noms homophones aux trois étages, qu'on distinguait alors en Lias supérieur, moyen et inférieur, il eut la malchance, ou la maladresse, d'appliquer le nom de Liasien au Lias moyen, plutôt qu'à l'inférieur, qui seul pouvait le porter.

De divers côtés, on s'est élevé contre cette fausse application. Déjà en 1858, Oppel avait proposé de remplacer *Liasien* par Pliensbachien (1). En 1864, M. Mayer-Eymar créa dans le même but le terme de Charmouthien (2). Enfin, en 1872, Leymerie (3) proposait à son tour le nom de Cymbien, que j'adoptai dans mon Tableau de 1874. Leymerie allait plus loin : il voulait même reporter au Sinémurien la dénomination malheureuse de Liasien, ce qui aurait augmenté la confusion. En présence de ces divergences, la seule chose à faire, c'est d'obéir à la loi de priorité, en adoptant le terme Pliensbachien.

Toarcien. Ce nom, généralement admis, est pris ici dans un sens restreint, par l'exclusion du niveau à *Harp. opalinum*, passé à l'Aalénien. M. Mayer-Eymar avait proposé pour ce sens restreint la forme française Thouarsien, que j'avais adoptée en 1874. J'y renonce très volontiers, vu l'usage prédominant.

Pliensbachien. C'est le Liasien de d'Orbigny, ou le Charmouthien de M. Mayer-Eymar. Ce dernier nom est conservé à tort par MM. Munier-Chalmas et de Lapparent, malgré le droit de priorité du nom donné par Oppel.

Sinémurien. C'est l'étage de d'Orbigny, restreint par la séparation de l'Infralias, ce qui aujourd'hui est l'usage habituel. Dans mon Tableau

(1) *Jura-formation*, p. 815.
(2) *Tableau synchronistique des terrains jurassiques.*
(3) *Bull. géol. Fr.*, XXIX, p. 168.

Digitized by Google

de 1874, j'en avais séparé la partie supérieure, sous le nom de Oxynotien. J'y renonce pour me conformer à l'usage.

Hettangien. Ce nom, que j'avais proposé en 1864 pour l'Infralias proprement dit, à *Psiloceras planorbis*, a trouvé faveur et paraît assez généralement admis.

Rhétien. Étage encore plus incontestable, et admis par tous, mais classé par beaucoup d'auteurs au sommet du Trias. J'ai fait en 1864 (1) une analyse critique de sa faune, d'où résultait une prédominance d'affinités avec le Lias. Ces affinités peuvent d'ailleurs varier suivant les régions. C'est en tout cas un étage transitoire entre les deux Systèmes. L'orthographe *Rhætien*, que j'avais employée en 1874, est plus conforme à l'étymologie latine; on l'a généralement francisée.

PÉRIODE TRIASIQUE.

A part la divergence dont je viens de parler, le Trias est une période admise par tous, avec les mêmes limites, et à laquelle le Congrès de Bologne a consacré la couleur violette. Mais là où les opinions varient, c'est dans le parallélisme du Trias classique avec le Trias alpin, ainsi que dans la subdivision de celui-ci en étages.

Dans mon Tableau triasique de 1874, je m'étais basé sur les premiers travaux de M. von Mojsisovics. Mais celui-ci a tellement varié depuis lors dans ses appréciations, que tout a été remis en question, même l'ordre de superposition des niveaux fossilifères du Trias supérieur alpin. Je me suis basé cette fois essentiellement sur les publications récentes de MM. Mojsisovics, Waagen et Diener (2), en les combinant éclectiquement avec les résultats de l'école opposée, en tenant compte des critiques de MM. Bittner, Haug, etc.

Deux points principaux restent actuellement en litige. Je dois légitimer la position que j'ai prise à leur égard.

Tout d'abord une question de parallélisme entre le Trias classique et le Trias alpin : M. Mojsisovics considère le *Haupt-Muschelkalk* à *Ceratites nodoses*, comme homotaxe de la zone à *Cerat. trinodosus* des Alpes. Ses contradicteurs parallélisent les deux zones alpines à *C. tri-*

(1) Renevier, *Infralias*, p. 53 (Bull. vaud. sc. nat., VIII).

(2) *Classific. des pelagischen Trias* (Akad. Wiss. Wien, CIV, 1895) et autres notices récentes de M. Mojsisovics.

Digitized by Google

nodosus et *C. binodosus* avec le *Wellenkalk* classique, et considèrent le *Haupt-Muschelkalk* comme plus récent. Il en résulte qu'ils font descendre dans le Conchylien les *Wengener-Schichten* et les calcaires de Esino, Marmolata, etc., du versant sud des Alpes (**Ladinien**, Bittner). Obligé de prendre un parti, malgré mon incompétence, il m'a paru que ce dernier avis tendait à prédominer, et je m'y suis rangé, vu les grandes analogies fauniques signalées entre le Ladinien et le *Muschelkalk* supérieur de Silésie.

En second lieu, une question de nomenclature : M. Mojsisovics ayant été amené, par ses nouvelles études, à intervertir absolument l'ordre stratigraphique des lentilles fossilifères des calcaires de Hallstadt, il se trouve que celles qu'il avait précédemment groupées sous le nom de *Norisch* sont supérieures à son *Karnisch*, au lieu de lui être inférieures, comme il l'avait admis antérieurement. Toutefois, l'auteur n'intervertit pas ses noms en même temps que les couches, mais conserve le terme *Norisch* aux zones à *Trachyc. Archelaüs* et *Curioni* du versant sud des Alpes, et crée un nouveau nom *Juvavisch* pour le calcaire supérieur de Hallstadt, type primitif du *Norisch* (Alpes noriques).

M. Bittner, au contraire, estimant qu'on ne peut pas détourner un nom de son sens primitif, conserve le nom de *Norisch* à l'étage supérieur au *Karnisch*, et nomme *Ladinisch* l'étage inférieur.

Nous avons donc :

Calcaire supérieur de Hallstadt	= *Juvavisch*, Mojs.	= *Norisch*, Bittn.
Calcaire inférieur de Hallstadt	= *Karnisch*, Mojs.	= *Karnisch*, Bittn.
Calcaire de Esino, etc.	= *Norisch*, Mojs.	= *Ladinisch*, Bittn.

Le nom de *Norisch*, ayant ainsi revêtu deux sens différents, sinon trois, il ne peut plus être qu'une source de confusion, et il me paraît préférable de l'abandonner entièrement, malgré sa priorité.

Voici donc le groupement et la nomenclature que j'ai adoptés, en conservant autant que possible les noms les plus anciens :

TRIASIQUE.	sup. ou KEUPERIEN (Thurm. 183?)	**Juvavien** (Mojs. 1892). **Raiblien** (Stop. 1860).
	inf. ou CONCHYLIEN (Brongn. 1819).	**Ladinien** (Bittn. 1892). **Virglorien** (Rnv. 1874). **Werfénien** (Rnv. 1874).

Juvavien = *Norisch*, Bittn., Haupt-dolomit, Obere Hallstädter-Kalke et leurs équivalents; correspondant au *Haupt-Keuper* du Trias classique.

Digitized by Google

Raiblien = *Karnisch*, Mojs., Raibler-Schichten, Untere Hallstädter-Kalke, etc.; correspondant au Keuper inférieur ou *Lettenkohle* du Trias classique. Le nom de Raiblien est plus ancien et beaucoup plus caractéristique que celui de Carnien, employé par MM. de Lapparent et Munier-Chalmas.

Ladinien = *Norisch*, Mojs. (nouveau style). C'est l'ancien Larien de mon Tableau triasique de 1874, nom basé sur le gisement de Esino (*Lario* = lac de Côme), dont les équivalents fossilifères se retrouvent abondamment dans le Tyrol italien. D'après l'avis qui paraît prédominer maintenant, il correspondrait au *Haupt-Muschelkalk* du Trias classique.

Virglorien = *Dinarisch*, Waag. et Dien. (1895). Zones à *Ceratites trinodosus* et *Cer. binodosus;* correspondant au *Wellenkalk*, etc. du Trias classique.

Werfénien = *Skytisch*, Waag. et Dien. (1895). Werfener-Schichten à *Tirolites cassianus*, etc.; étage comprenant le grès bigarré du Trias classique.

Ces deux derniers étages ont été adoptés par MM. Munier-Chalmas et de Lapparent.

Ère primaire ou PALÉOZOAIRE.

Les limites de l'Ère primaire sont les mêmes pour tous les auteurs modernes. Personne ne songe plus maintenant à placer le Permien dans l'Ère secondaire. Il y a désaccord en revanche sur le nombre des Périodes. Dans ma première édition, je n'en avais admis que deux : Carbonique et Silurique, correspondant aux groupes Deutozoïc et Protozoïc de M. Lapworth. Dans cette seconde période, j'en admets trois, en faisant du Dévonique une Période à part. Beaucoup d'auteurs en admettent cinq, en distinguant encore comme périodes le Permien et le Cambrien, qui ne sont à mes yeux que des divisions de troisième ordre.

PÉRIODE CARBONIQUE.

La liaison paléontologique entre le Permien et le reste du Carbonique est si intime, que je ne saurais admettre sa séparation comme

Digitized by Google

Période distincte. C'est, en somme, le même régime végétal et le même régime animal, d'un bout à l'autre. Beaucoup d'espèces sont communes, et les genres sont en grande partie les mêmes. Les dépôts pélagaux, mieux connus maintenant, confirment à mes yeux cette association, par la présence des calcaires à *Fusulina*, aussi bien dans le Permien que dans le Carbonique moyen. La teinte grise a été adoptée comme couleur conventionnelle.

Je me suis arrêté au goupement suivant :

CARBONIQUE *s. lat.*	sup. ou **Permien** (Murch. 1848).	**Thuringien** (Rnv. 1874). **Lodèvien** (Rnv. 1874). **Artinskien** (Karp. 1874).
	moy. ou **Démétien** (Woodw. 1856).	**Stéphanien** (May.-Ey. 1878). **Moscovien** (Nikitin 1890).
	inf. ou **Bernicien** (Woodw. 1856).	**Viséen** (Dupont 1883). **Tournaisien** (Koninck 187?).

Le terme de Dinantien, créé par MM. de Lapparent et Munier-Chalmas en 1893, est inutile puisque, déjà en 1856, S.-P. Woodward avait proposé les noms de **Bernicien** pour le Carbonifère inférieur et de **Démétien** pour le Carbonifère supérieur, indiquant le Millstone-grit comme plan de séparation. Démétien remplace avantageusement le nom de terrain houiller, trop restrictif et qui n'est pas polyglotte.

Thuringien. Ce nom que j'avais proposé en 1874, pour désigner le Permien supérieur, a été adopté par les auteurs qui tiennent à une nomenclature homophone internationale.

Lodèvien. Je ne vois pas de raison pour substituer à ce nom, datant aussi de 1874 et bien caractérisé, celui de Penjabien, et encore moins celui de Saxonien, imaginés en 1892 par MM. de Lapparent et Munier.

Artinskien. Étage de transition, dit souvent *Permo-Carbonifère*. Le terme de Autunien, datant de 1881, en représenterait les formations terrestres, mais cette dualité de nomenclature me paraît plutôt une source de confusion. On doit subordonner le terme Autunien au nom plus ancien.

Stéphanien. Même observation pour Ouralien (1892), qui se rapporte à un faciès spécial du Stéphanien. Gshélien (Nikit. 1890) serait d'ailleurs plus ancien et plus caractéristique. Décidément MM. Munier-Chalmas et de Lapparent ont étrangement abusé du néologisme.

Digitized by Google

Moscovien. Bonne dénomination de l'étage inférieur du Démétien; ses formations terrestres ont reçu plus récemment, des néologistes précités, le nom de Westphalien.

Viséen. Nom usité en Belgique et au nord de la France pour l'étage supérieur du Bernicien. C'est le Kulm des Allemands.

Tournaisien. Étage inférieur du Bernicien, si bien représenté à Tournai (Belgique). Le *Waulsortien* est une formation récifale, qui représente la partie supérieure du Tournaisien et peut-être aussi l'inférieure du Viséen. Le Ursien, que j'avais inscrit dans mon Tableau de 1874, se confond probablement avec le Tournaisien; le nom en est peut-être plus ancien, mais le type moins connu et moins caractéristique.

Ces deux divisions du Bernicien paraissent être de bons étages, d'une valeur égale à ceux du Dévonique.

PÉRIODE DÉVONIQUE.

Pour m'accorder avec l'usage habituel, et quoique cette subdivision du temps me paraisse d'une valeur bien moindre que le Silurique, j'accepte le Dévonien comme division de second ordre, et lui applique la désinence ...*ique*. Cela étant, les trois sections généralement admises, sous les noms de Dévonien supérieur, moyen et inférieur, deviennent des divisions de troisième ordre, auxquelles se subordonnent les six étages proposés par M. Gosselet, qui sont assez généralement acceptés. J'en ajoute un septième, à l'instigation de M. le professeur Ém. Kayser.

Ce groupement, assez naturel, devient le suivant :

DÉVONIQUE.	sup. ou CONDRUSIEN . . . . . (Dum. 1848, restreint).	**Famennien** (Gosselet 1880). **Frasnien** (Gosselet 1880).
	moy. ou EIFÉLIEN . . . . . (Dum. 1848).	**Givétien** (Gosselet 1880). **Couvinien** (Dupont 18.?).
	inf. ou RHÉNAN. . . . . (Dumont 1848).	**Coblencien** (Dum. 1848). **Taunusien** (Dum. 1848). **Gedinnien** (Dum. 1848).

Dans ma première édition, j'avais appliqué le nom de Condrusien au niveau du calcaire carbonifère, mais il paraît que je l'avais mal interprété, et qu'il comprend surtout le Dévonique supérieur. C'est sur la proposition de M. Ch. Barrois que je l'emploie maintenant au lieu de Famennien (*s. lat.*).

Digitized by Google

Famennien. Étage de M. Gosselet. Clymenien-Kalk et Cypridinien-Schiefer.

Frasnien. Aussi un étage de M. Gosselet; généralement adopté.

Givétien. Même cas, seulement M. Gosselet le groupe avec les deux précédents dans le Dévonique supérieur.

Couvinien. C'est le niveau à *Calceola sandalina*, qui pour M. Gosselet forme seul l'Eifélien, soit le Dévonique moyen.

Coblencien. Ancien nom de Dumont, que M. Gosselet avait pris dans un sens un peu plus large. C'est sur la proposition de M. Ém. Kaiser que j'en sépare le suivant :

Taunusien. Aussi un ancien nom de Dumont, qui paraît se rapporter à un niveau paléontologique de l'Allemagne occidentale, ayant valeur d'étage, au même titre que les précédents.

Gedinnien. Subdivision belge, à faune peu connue, qui paraît n'avoir guère été retrouvée ailleurs. Admis comme étage par M. Gosselet et les auteurs belges et français.

PÉRIODE SILURIQUE.

Période importante, à l'instar du Crétacique, ou Jurassique. M. Lapworth lui accorde même une valeur de premier ordre, sous le nom de *Ère protozoïque*. J'y comprends, à titre d'Époque subordonnée, le **Cambrien**, dont beaucoup d'auteurs font une Période à part.

Le démembrement de la période Silurique serait :

SILURIQUE.	sup. ou **Silurien**. . . . . (Murch. 1835, restreint).	**Ludlowien** (Murch. 1839). **Wenlockien** (Murch. 1839). **Landovérien** (Murch. 185?).
	moy. ou **Ordovicien**. . . . . (Lopw. 1879).	**Caradocien** (Murch. 1839). **Landeilien** (Murch. 1839). **Arénigien** (Sedgw. 1847).
	inf. ou **Cambrien**. . . . . (Sedgw. 1835, restreint)	**Potsdamien** (Emmons 1888). **Ménévien** (Salt. et Hicks 1865). **Géorgien** (Hitchcock 1861).

Le Silurique moyen a donné lieu à d'interminables contestations entre deux écoles anglaises. Celle de Sedgwick en fait du Cambrien supérieur, tandis que pour celle de Murchison, c'est du Silurien infé-

Digitized by Google

rieur. Pour les mettre d'accord, M. Lapworth a proposé le nom de **Ordovicien**. C'est une heureuse solution du conflit. L'Ordovicien est en effet une Époque intermédiaire, qui correspond à la *Faune seconde* de Barrande.

Quant à la série supérieure, qui est du **Silurien** pour les deux écoles, je lui conserve ce nom, auquel d'Orbigny a voulu substituer celui de Murchisonien, M. Lapworth le terme de Salopian et M. de Lapparent, dans sa deuxième édition, celui de Bohémien, et dans sa troisième, celui de Gothlandien.

Sauf ceux du Cambrien, les noms d'Étage sont tous d'anciennes dénominations usitées en Angleterre, auxquelles on a seulement ajouté la désinence homophone. Voici quelques explications à leur sujet :

Ludlowien. Cet étage comprend mon Ledburien de 1874, basé sur des couches qui paraissent n'être qu'un faciès local du type estuarial.

Wenlockien. Étage bien connu, fondé sur les riches gisements du nord-ouest de l'Angleterre.

Landovérien. C'est à dessein que, en francisant ce nom, je supprime le second *l* en tête. M. Lapworth a proposé d'y substituer le nom de Valentian, qui aurait l'avantage d'être plus euphonique, mais qui est encore peu usité. Cet étage présente un caractère transitionnel à l'Ordovicien.

Caradocien. Dénomination assez usitée pour l'Ordovicien supérieur.

Landeilien. De même, pour l'Ordovicien moyen. En francisant le nom, je retranche le second *l* en tête, qui compliquerait la prononciation.

Arénigien. Nom usité pour l'Ordovicien inférieur.

Potsdamien. Comprend le Trémadocien et le Lingulien de mon Tableau silurique de 1874. M. Lapworth nomme cet étage Olénidien, à cause de la prédominance des *Olenus*, genre de trilobites; mais on rejette maintenant ces dénominations basées sur des fossiles.

Ménévien. C'est le nom le plus anciennement donné à cet étage. Il mérite d'être conservé, étant basé sur le gisement classique de Saint-Davids, dans le Pays de Galles. M. Lapworth emploie le nom de Paradoxidien, à cause de la prédominance du *G. Paradoxides*. M. Wal-

Digitized by Google

cott et avec lui MM. de Lapparent et Munier préfèrent le nom de Acadien, qui ne date que de 1867.

Géorgien. C'est l'âge le plus ancien dans lequel la vie organique soit certaine et incontestée, mais la faune en est peu abondante et imparfaitement connue. La fréquence relative de pistes d'annélides lui avait fait donner le nom d'Annélidien. M. Lapworth voudrait appliquer à cet étage l'ancien nom américain de Taconien, mais ce terme serait une source de confusion. M. Walcott (1) affirme en effet qu'il n'y a pas trace de fossiles de la faune primordiale dans le Taconic-Range; donc le type est fautif. D'autre part, le nom de Taconien a été revendiqué pour la série entière du Cambrien par M. Marcou et par d'autres. Il manquerait absolument de précision pour désigner l'un des étages.

ÈRE ou PÉRIODE ARCHÉIQUE.

En l'absence de fossiles bien caractérisés et incontestés, il n'est pas possible de dire avec certitude si ces terrains anciens représentent une division de premier ou de second ordre. Leur énorme épaisseur ferait pencher la balance en faveur de la première solution. D'autre part, les subdivisions sont basées nécessairement sur les seuls caractères pétrographiques, joints aux discordances. Elles ne sont donc pas comparables aux divisions de troisième et quatrième ordre de l'Ère primaire. Comme mes tableaux se rapportent spécialement aux temps organiques, l'Archéique ne figure ici qu'à titre dubitatif et éventuel.

Voici le groupement provisoire qui m'a paru le plus conforme à l'usage général :

ARCHEIQUE.	HURONIEN (Logan 1854)	**Kéweenawien** (Brooks 1876). **Pébidien** (Hicks 1878).
	LAURENTIEN (Logan 1854) . . .	**Arvonien** (Hicks 1878). **Dimétien** (Hicks 1878). **Léwisien** (Hicks 1878).

J'ai d'ailleurs utilisé pour les grandes divisions les noms américains anciens, généralement admis, de Huronien et Laurentien; puis pour les subdivisions, les étages proposés par M. Hicks, en les faisant concorder aussi bien que j'ai pu. Il est évident qu'ici le fil directeur nous manque, et que toute synthèse est hasardée.

(1) *Bull. 81 of U. S. A. Geol. Survey.*

Digitized by Google

Dans ces dernières années, les Américains ont restreint le nom de Huronien à une subdivision de leur Algonkien (van Hise, 1892), qu'ils mettent au même rang que Laurentien. Il y a là une interversion qui ne me paraît pas naturelle. Le nom le plus ancien est généralement le plus vague et, sauf exception bien légitimée, il doit s'appliquer de préférence à la division d'ordre supérieur.

Je résume tout ce groupement hiérarchique en un petit tableau succinct (voir le tableau annexe, hors texte), dans lequel je cherche à mieux accuser les transitions graduelles, en substituant aux barres de séparation trop rigides un système d'accolades plus malléable.

En finissant ce sujet, je tiens à rappeler que j'admets la légitimité de toute classification stratigraphique régionale et de toute nomenclature locale.

Ce que j'ai voulu établir, c'est une commune mesure des temps, qui serve d'étalon international, auquel on puisse comparer les diverses échelles locales.

Pour cela, il faut une nomenclature systématique, autant que possible polyglotte, qui se base sur les régions classiques les mieux étudiées, et qui soit comprise de tous.

C'est dans l'intérêt de chacun, et cela n'apporte absolument aucune entrave à la liberté scientifique.

Digitized by Google

LES

MOUVEMENTS DE L'ÉCORCE TERRESTRE

PAR

J. LE CONTE

Président de la Société géologique des États-Unis.

(*Discours annuel prononcé le 29 décembre 1896. Traduction d'après* CIEL ET TERRE *des 16 septembre et 1er octobre 1897.*)

Introduction. — Sources d'énergie.

Presque toutes les manifestations de la nature qu'il nous est donné de contempler, tirent leur force du Soleil. L'air et l'eau sont animés de courants dont la circulation est déterminée par cet astre. Il donne la vie aux plantes et, par elles, aux animaux. Tous les produits de notre industrie, qu'ils aient pour moteurs l'eau, le vent, la vapeur ou l'électricité, n'ont pas d'autre source, et les phénomènes de l'activité humaine, intellectuelle, sociale ou morale, relèvent de cette même cause. Une seule exception à cette loi presque universelle se rencontre parmi les phénomènes que les géologues ont réuni en un seul groupe sous le nom de *forces ignées,* et qui comprennent les volcans, les tremblements de terre et les mouvements moins violents de la croûte terrestre.

Les éléments de l'action géologique ont été primitivement divisés en deux groupes. L'un comprend les agents atmosphériques, aqueux et organiques, avec les phénomènes terrestres qui en sont la conséquence; l'autre ne se compose que des éléments ignés et des phénomènes qui

Digitized by Google

en dépendent. Les forces, dans le premier groupe, sont extérieures; celles du second sont intérieures. Elles dérivent, dans l'un, du Soleil; dans l'autre, de la Terre. L'un dégrossit, l'autre détaille les traits de la Terre; l'un taille dans la masse, le second lui donne une forme. L'effet général du premier est d'augmenter les inégalités de la surface terrestre, celui du second d'aplanir et enfin de détruire ces inégalités. La configuration de la surface terrestre, la distribution des terres et des eaux, en un mot tout ce qui constitue la géographie physique à n'importe quelle époque géologique, dépend de l'état d'équilibre entre ces deux forces éternellement antagonistes.

Phénomènes à étudier.

Les phénomènes du premier groupe, avec leurs lois et leurs causes, sont relativement aisés à comprendre, parce que, se manifestant à la surface, ils s'offrent d'eux-mêmes à l'observation; les causes des phénomènes du second groupe, au contraire, étant cachées dans les profondeurs de la Terre, échappent à l'observation directe et sont pour nous encore fort obscures.

Or, l'obscurité où l'on est encore à leur égard, jointe à leur extrême importance, stimule d'autant plus le zèle investigateur des géologues. L'intérêt excité par le premier groupe, dont les manifestations toutes terrestres sont dues au Soleil, est attiré en même temps vers d'autres branches des sciences : la physique, la chimie et la biologie; tandis que les phénomènes du second groupe appartiennent exclusivement au domaine de la géologie.

Si l'on compare la Terre à un organisme, ces forces intérieures constitueront son énergie vitale; l'autre groupe peut alors être assimilé à un entourage de faits physiques en lutte avec ces forces, et le résultat de la lutte détermine les diverses phases de l'évolution de l'ensemble. Or, presque tous les progrès opérés par la biologie ont été obtenus par l'étude des phénomènes extérieurs, qui sont les plus aisés à comprendre; elle a ainsi déblayé le terrain et réuni des matériaux pour attaquer les objets jusqu'ici restés obscurs, et les progrès qu'elle est destinée à faire encore devront avoir pour objectif une connaissance plus approfondie des forces vitales elles-mêmes. Cela n'est pas moins vrai pour la géologie. L'étude des phénomènes extérieurs, tels que l'érosion, le transport des matériaux, la sédimentation, la stratification, la distribution des formes organiques dans le temps et dans l'espace, a

Digitized by Google

été l'origine des premiers progrès de cette science. On a maintenant des données générales assez exactes sur les lois de ces phénomènes, et le progrès futur consistera à parfaire et à compléter ces données. Toutefois, ce qui sera aussi et avant tout le point principal à obtenir, est une connaissance plus parfaite des forces intérieures. C'est à cela que vise la géologie de notre époque. Pour y arriver, il faut d'abord établir clairement les questions à résoudre.

Effets des forces intérieures.

L'intérieur de la Terre étant inaccessible à l'observation directe, on ne peut raisonner sur les forces intérieures que d'après les effets produits par elles. Or ces effets sont de trois ordres : 1° les volcans et toutes les éruptions de matières venant de l'intérieur; 2° les tremblements de terre, y compris tous les mouvements, forts ou faibles; 3° les petits mouvements successifs, agissant sur de grandes surfaces, imperceptibles à nos sens, mais s'accumulant pendant un temps indéfini. Il est hors de doute que, de ces trois genres, le dernier est le plus important, le plus fondamental, puisqu'il est l'origine des deux autres. En effet, les volcans et les tremblements de terre, tout frappants et ostensibles qu'ils soient, ne sont probablement que des accidents occasionnels, se produisant au cours de la marche lente et progressive de ces mouvements plus durables, plus continus. C'est donc de ces derniers que nous allons nous occuper.

Les mouvements déterminés dans la croûte terrestre par des forces intérieures peuvent être classés en quatre catégories, d'après leur importance relative : 1° les plus violents, les plus étendus et sans doute les plus anciens, qui ont séparé les masses continentales et formé les bassins océaniques; 2° les mouvements par poussées latérales, auxquels on doit le soulèvement des chaînes de montagnes; 3° certains mouvements vastes, mais sans direction continue, oscillatoires et, par conséquent, sans effet d'accumulation; 4° des mouvements déterminés par un rétablissement d'équilibre, que des déplacements de masses avaient rompu. Peut-être ces derniers ne doivent-ils pas être attribués seulement aux forces intérieures terrestres, puisque les déplacements de masses dépendent probablement plutôt de forces extérieures à la Terre ou dérivées du Soleil. Ils sont pourtant si importants par les modifications qu'ils apportent dans les effets des autres mouvements et par l'influence qu'ils exercent sur les conditions intérieures de la Terre,

Digitized by Google

qu'on ne saurait les passer sous silence ou en faire abstraction.

De ces quatre espèces de mouvements, deux sont de premier ordre; ils agissent toujours dans une direction déterminée et leurs effets vont en s'accumulant jusqu'à ce que survienne un élément nouveau qui en contrarie la marche. Les deux autres, au contraire, sont secondaires, ils n'opèrent pas constamment dans la même direction, mais sont oscillatoires; ils modifient et rendent parfois complétement nuls les effets des mouvements primaires.

Considérons ces divers mouvements suivant l'ordre qui vient d'être indiqué.

Formation des bassins océaniques.

On peut admettre qu'à une certaine époque, la Terre a été un sphéroïde incandescent, en fusion, de dimensions beaucoup plus considérables qu'aujourd'hui, et que sa forme et sa grandeur actuelles sont le résultat du refroidissement, de la solidification et de la contraction. Or, si au moment de la solidification elle eût formé un tout homogène, le refroidissement et la contraction auraient été les mêmes sur tous ses points et sa forme sphéroïdale fût restée intacte. Mais il paraît peu vraisemblable qu'une homogénéité complète ait pu exister dans un corps aussi volumineux. Si donc la matière terrestre a été plus dense et plus conductrice sur certains points que sur d'autres, les premiers ont dû, rien qu'en raison de leur plus forte densité, tomber au-dessous du niveau moyen et former des creux; car, même dans un solide (et *à fortiori* dans un semi-liquide, tel que la Terre l'était alors), un équilibre statique (*isostasie*) doit s'établir entre des espaces aussi étendus. Telle aurait été l'origine des bassins océaniques. Les inégalités que je viens de signaler seraient pourtant peu de chose si une cause plus considérable ne venait s'y ajouter : la plus forte conductibilité de ces mêmes espaces ou régions. La conductibilité n'est, il est vrai, pas proportionnelle à la densité, mais, en thèse générale, elle l'est; et les surfaces les plus denses doivent être aussi les plus conductrices et, par conséquent, se refroidir et se contracter plus promptement que les autres; cette condition doit aussi augmenter progressivement la dépression sur ces espaces.

Les deux causes — densité et conductibilité — isostasie et contraction — marchent de pair, mais la dernière est de beaucoup la plus forte à cause de sa faculté infinie d'accumulation. Ainsi, la lithosphère sphéroïdale primitive devait donc être déformée et sa distorsion, fixée par

Digitized by Google

la solidification, a été en augmentant jusqu'à nos jours. Lorsque le refroidissement est devenu suffisant pour précipiter la vapeur atmosphérique, l'enveloppe aqueuse formée ainsi a dû s'accumuler dans les bassins de la lithosphère et constituer les océans. Il est possible et même probable que les dépressions ont été d'abord si peu sensibles que l'océan primitif ait pu être universel; mais à mesure que la contraction a augmenté vers le centre de la Terre, les bassins sont devenus plus profonds et les parties les moins contractées de la lithosphère ont paru sous forme continentale. Cette marche continuant, les terres se sont élevées et développées en étendue, tandis que les bassins océaniques devenaient plus profonds et plus resserrés. En résumé, malgré les alternatives de diminution et d'augmentation des terres, malgré les obstacles apportés par des agents extérieurs, tels que l'érosion et la sédimentation, ainsi ont dû se passer les faits, à mon avis, au cours de l'histoire géologique du monde.

Partant de ce point de vue, il est évident que puisque les causes qui ont formé primitivement les bassins océaniques ont continué à agir aux mêmes points, la position de ces grandes inégalités de la lithosphère n'a point changé. C'est le principe de la permanence des bassins océaniques et des masses continentales, indiqué d'abord par Dana.

Une objection a été faite à cette manière de voir : c'est que l'hétérogénéité supposée ici dans une masse passée de l'état de fusion à l'état solide, est fort improbable, sinon tout à fait impossible. Je crois que cette objection ne tient pas si l'on considère les très faibles différences de conductibilité et de contraction auxquelles nous avons affaire; je dis « faibles » par comparaison avec la grandeur de la Terre. L'examen des inégalités de la surface terrestre rendra cette assertion évidente. Les océans ont une profondeur moyenne de 4,000 mètres; la hauteur moyenne des continents est d'environ 500 mètres. Par conséquent, l'inégalité moyenne de la lithosphère est moindre que 5,000 mètres. C'est 1/1500 du rayon de la Terre, moins de 1/4 de millimètre sur un globe de 60 centimètres de diamètre. Je crois qu'une balle sphéroïdale de terre plastique, en se séchant, ou une balle sphéroïdale de cuivre rougi, en se refroidissant, seraient plus déformées par la contraction que la lithosphère de la Terre telle qu'elle se présente actuellement. Il est vrai que les inégalités sont plus accentuées en certains points, spécialement sur la limite des surfaces continentales, mais ce fait est dû à une autre cause, la formation des montagnes, dont nous parlerons plus tard.

Une seconde objection est présentée par les géologues. Le point de

Digitized by Google

vue exposé précédemment étant adopté, il semble d'abord que les bassins océaniques, se refroidissant rapidement, ont dû être les premiers à former une croûte solide et que cette croûte (s'il y reste quelque liquide intérieur) doit y être plus épaisse qu'ailleurs, et par suite moins soumise à une action volcanique; or on remarque que c'est justement sur ces espaces que les volcans sont les plus nombreux et les plus actifs. C'est là ce qui a fait penser à Dana que les espaces terrestres ont été plus prompts que les espaces océaniques à se solidifier. Il est probable qu'il en est ainsi; mais après un instant de réflexion on verra que ces deux faits, à savoir : la plus ancienne solidification des surfaces terrestres et les refroidissements et contractions plus prompts des espaces océaniques ne sont pas en contradiction l'un avec l'autre; les surfaces plus conductrices de la chaleur et par conséquent plus vite refroidies, ont dû en réalité être les dernières à se solidifier, parce que la solidification à la surface devait être retardée par le passage de la chaleur venant d'en bas, tandis que les espaces terrestres moins conductifs ont dû certainement être les premiers solidifiés. Les laves les plus vésiculaires et non conductrices sont les premières à se solidifier et, par la même raison, les dernières à se refroidir à de grandes profondeurs.

On pourra soulever encore d'autres objections, surtout si l'on entre dans le détail; les principes physiques sur lesquels la théorie repose et les conditions dans lesquelles ils agissent sont de beaucoup trop complexes et trop imparfaitement connus pour admettre une discussion de détail. Il conviendra donc de se borner aux considérations générales.

Arrêtons-nous un moment pour comparer à l'hypothèse ci-dessus celle de Dana, telle que Gilbert l'a interprétée et fait connaître en 1893.

1° D'après Dana, la solidification de la Terre a dû d'abord s'opérer au centre; ce qui, en fait, paraît le plus probable; 2° On peut supposer que le liquide surnageant, disons de 80 à 160 kilomètres d'épaisseur, s'est disposé par couches de densités progressives, allant de la surface jusqu'au noyau solide. Supposons maintenant que, par une cause quelconque, — faible conductibilité par exemple, — certaines régions se solidifient à la surface. Ces croûtes formeront, sans doute, les parties superficielles les plus légères; mais puisque les roches, en se solidifiant, se contractent, ces croûtes solidifiées seront précipitées sur le noyau et remplacées par des matériaux légers de même nature, venant de la surface avoisinante, qui à son tour se solidifiera et coulera à fond.

Digitized by Google

Ainsi se construirait, à partir du noyau intérieur, une masse solide contenant seulement en matériaux superficiels légers, propres à former un sol solide, tandis que les matériaux plus denses et moins prompts à se solidifier formeraient les espaces océaniques. De même que dans mon système, les espaces océaniques proviennent des matériaux les plus denses et les espaces terrestres des plus légers.

Il est clair que, d'après l'un ou l'autre de ces systèmes (et spécialement d'après le mien), la densité des matériaux qui constituent le bassin des océans, depuis leur surface jusqu'au centre de la Terre, et celle des matériaux qui forment de même les continents, sont dans un rapport inverse à la longueur des rayons terrestres sub-océaniques et sub-continentaux. Par conséquent, les espaces sous-marins et continentaux se trouvent dans un parfait état d'équilibre statique. Ainsi, dans la formation des continents, les principes de l'*isostasie* sont complétement satisfaits. Je dis « complétement », parce qu'il ne s'agit pas d'un équilibre partiel dû à la rigidité, mais d'un équilibre renforcé par la pression, lequel existe sans effort et par lui-même.

Formation des montagnes.

Les chaînes de montagnes se classent suivant deux types : l'*anticlinal* ou fondamental; le *monoclinal* ou exceptionnel. Le premier comprend les montagnes de structure tourmentée, déterminée par refoulement latéral; le second, les montagnes de structure plus simple, formées par le tassement inégal de grandes portions de la croûte terrestre. Je ne m'occuperai, pour le moment, que de la première espèce.

On ne saurait mettre en question que les chaînes de montagnes du premier type n'aient pour origine une pression latérale, quelle que soit d'ailleurs la cause de cette pression; et on ne discutera pas davantage que cette action ne soit permanente et suive une direction continue, quelles que soient d'ailleurs les modifications apportées par l'érosion ou d'autres agents de destruction. Pour ces motifs, j'ai considéré ces montagnes comme résultant des effets provoqués par les mouvements primaires, c'est-à-dire comme dues aux mouvements dont les causes affectent le globe entier.

Une autre raison de cette classification est que, jusqu'à preuve du contraire, je tiens que ces effets résultent d'une contraction intérieure concentrée sur certains points faibles de la croûte, lesquels, par suite, doivent céder sous la pression latérale ainsi produite. Les raisons pour

Digitized by Google

et contre ont déjà été discutées ailleurs; je ne veux ici que rencontrer certaines critiques au sujet de la théorie de la contraction, et, notamment, celle qui concerne la position supposée du niveau de nulle tension (*level of no strain*).

Cette critique tire sa force de l'extrême *superficialité* de ce niveau; et celle-ci, à son tour, dépend de la température initiale du noyau incandescent et du temps écoulé depuis qu'il a commencé à se refroidir. Ces deux conditions sont très incertaines, mais, ainsi que Davison l'a indiqué récemment, il existe d'autres éléments, laissés de côté dans les premiers calculs, et dont l'influence sur les résultats doit être considérable. Ces éléments nouveaux concourent pour placer le *niveau de nulle tension* à une profondeur beaucoup plus grande que les premiers calculs ne l'admettaient.

Ces éléments jusqu'ici négligés sont les suivants : 1° la température de la Terre augmente à mesure qu'on y pénètre plus profondément; or le coefficient de contraction s'accroît avec la température, ce qui doit augmenter la profondeur du *niveau de nulle tension,* et également, par suite, le degré de la contraction intérieure, d'où augmentation dans la force de poussée latérale; 2° la conductibilité augmente avec la température, ce qui doit précipiter le refroidissement et, par suite, la rapidité de la contraction intérieure; 3° l'intérieur de la Terre est plus conducteur, non seulement à cause de sa plus haute température, mais aussi à cause de sa plus grande densité; ceci est exact, soit que la plus grande densité provienne de l'augmentation de la pression, soit de l'inégalité des matériaux (par exemple, une surabondance de métaux non oxydés); 4° les matières de l'intérieur, en dehors de la plus haute température et de la densité, ont un plus fort coefficient de contraction; 5° les calculs ordinaires partent de l'idée que la température initiale était la même à toutes les profondeurs, tandis qu'il est vraisemblable qu'elle allait en augmentant avec la profondeur, comme on le constate encore de nos jours; il en résulterait une forte augmentation de la profondeur du *level of no strain* et de la puissance de la compression latérale.

Le résultat final auquel est arrivé Davison est que, tandis que d'après les calculs ordinaires, le *level of no strain* ne peut être placé qu'à un peu plus de 3,000 mètres (3,500 mètres) au-dessous de la surface, cependant si l'on met en ligne de compte le premier élément indiqué plus haut, la profondeur de ce niveau augmentera jusqu'à près de 13 kilomètres (12,500 mètres), et que si l'on ajoute tous les éléments, elle deviendra encore beaucoup plus considérable. La conclusion générale est que les objections faites à la théorie contractionnelle, en se

Digitized by Google

basant sur la profondeur du *level of no strain*, doivent être regardées comme non avenues.

Mouvements oscillatoires.

Les mouvements dont je viens de parler ont une direction continue pendant tout le temps de leur durée ; aussi les effets résultants sont-ils les mêmes tant que d'autres mouvements ou des influences perturbatrices ne viennent interrompre leur progrès. Mais il est certain qu'à côté de ces mouvements de marche fixe, il s'en présente d'autres d'un caractère oscillatoire, c'est-à-dire se produisant tantôt en haut, tantôt en bas, occupant des espaces tantôt grands, tantôt resserrés, et se répétant plusieurs fois. Ces mouvements se remarquent fréquemment sur la croûte terrestre ; on les retrouve à toutes les époques de l'histoire de la Terre et ils sont révélés par les irrégularités des couches stratifiées ; on y voit des espaces érodés, anciens ; d'autres couches uniformes sont les indices d'un fond marin rempli de sédiments.

Voici deux exemples d'oscillations de ce genre :

Le plateau du Colorado était primitivement un fond marin et a continué à l'être depuis le commencement de l'époque carbonifère jusqu'à la fin de l'époque crétacée ; pendant ce laps de temps, il a reçu 3,500 ou 4,500 mètres d'épaisseur de sédiments. Pendant ce temps aussi, la surface de la croûte terrestre s'affaissait lentement, tout en se recouvrant de sédiments nouveaux. Pourquoi cette marche s'est-elle arrêtée ? A la fin de l'époque crétacée, cette même surface a commencé à s'élever. Quelles ont été les causes de cette transformation ? Cette région a continué à s'élever jusqu'à nos jours et elle s'élève encore. La masse ainsi accumulée ne peut être moindre que 6,000 mètres, car si toutes les couches qui ont été éliminées par érosion étaient reconstituées, la partie culminante formant fond marin à la fin de l'époque crétacée serait à présent haute de 6,000 mètres. Cette oscillation sera pourtant la dernière de cette partie du globe, car au-dessous de la couche carbonifère se remarquent plusieurs irrégularités prouvant que plusieurs oscillations du même genre ont eu lieu à des époques antérieures. Pendant l'époque dévonienne, l'espace était continental, puisque le terrain carbonifère repose, avec des inégalités, sur le terrain silurien. Il a été fond marin pendant l'époque silurienne et en a reçu les sédiments. Au-dessous de la couche silurienne, deux autres inégalités témoignent d'oscillations semblables. Ces anciennes oscillations étaient probablement aussi fortes que celle qui a lieu actuellement, mais il nous est impossible de les évaluer aussi aisément.

Digitized by Google

Un autre exemple, plus étendu et plus récent, est donné par les énormes oscillations de la période glaciaire. Il ne saurait être mis en doute que sur de très grandes surfaces (plusieurs millions de kilomètres carrés) il n'y ait eu en ce temps des mouvements de haut en bas de plusieurs milliers de mètres, lesquels ont produit des changements considérables dans le climat et dans toute la géographie physique. Quelle cause a amené ces mouvements? Ils ont certainement été modifiés par d'autres mouvements superposés, mais les origines des uns et des autres ne doivent pas être confondues.

Nous avons donné deux exemples comme particulièrement frappants, mais, en réalité, ces mouvements se présentent communément sur la croûte terrestre. Ils sont indiqués partout par l'irrégularité des couches et partout aussi ils existent actuellement. Sur certains points, la mer s'avance et la terre se retire; sur d'autres, la terre empiète sur la mer. Ces mouvements sont surtout apparents le long des côtes, parce que la mer a un niveau donné auquel on peut les rapporter; mais ils affectent également l'intérieur des continents, ce qu'on voit aux allures des rivières, dont le niveau s'établit par érosion sur des terres qui s'élèvent, et par sédimentation sur une contrée qui s'affaisse.

Diverses hypothèses ont été émises pour expliquer ces mouvements, et spécialement ceux, parfois locaux, des lignes de côtes. Dans les régions volcaniques, ils ont été attribués à l'augmentation ou à la diminution de la chaleur et à l'expansion ou à la contraction qui en résultent. Sur les lignes des côtes à sédiments non volcaniques, l'élévation a été attribuée par quelques-uns à l'augmentation de la chaleur intérieure de la Terre et à l'expansion de la croûte due aux recouvrements par les dépôts sédimentaires qui en sont la conséquence. D'autres pensent, avec plus de raison, que les régions à sédiments épais s'affaissent sous le poids des dépôts accumulés; mais il est évident que si ces théories peuvent rendre compte de quelques faits locaux propres aux régions volcaniques et aux lignes de côtes, elles ne sauraient expliquer les affaissements de l'intérieur des continents et surtout les énormes mouvements dont il a été question ci-dessus. Il faut donc chercher une cause plus générale. Quelle est-elle?

Il est certain que de tous les problèmes de la géologie, celui des mouvements oscillatoires est resté le moins explicable. Pas la moindre lueur n'a encore été jetée sur cet objet. Si j'en parle ici, ce n'est pas pour le résoudre (car j'avoue mon incapacité à le faire), mais pour bien le différencier d'autres questions et attirer l'attention sur les modifications que ces mouvements apportent aux mouvements de la première

Digitized by Google

espèce, ces modifications étant de nature à mettre en doute le principe de la permanence des bassins océaniques et des surfaces continentales, sinon à le faire même nier absolument par quelques-uns. Presque tous les changements opérés depuis les temps géologiques dans la géographie physique, avec leurs conséquences sur le climat et la distribution des formes organiques, ont été déterminés par les mouvements oscillatoires; mais on a lieu de penser pourtant que, quelque violents et étendus qu'ils aient pu être, la position des bassins océaniques et celle des masses continentales a été déterminée par des causes plus anciennes et est demeurée la même.

Mouvements résultant de la pesanteur.

L'hypothèse des mouvements dus à un rétablissement d'équilibre sous l'action de la pesanteur, émise d'abord en partie par Herschel, a été clairement définie pour la première fois par le major Dutton, sous le nom d'*isostasie*. On peut la formuler comme suit : Dans une masse aussi grande que celle de la Terre, qu'elle contienne des liquides ou soit complètement solide, un excès ou un défaut de poids ne peut exister d'une façon permanente sur de grands espaces. Le sol doit céder graduellement jusqu'à ce qu'un équilibre statique s'établisse. Il s'ensuit qu'un transport continu de matière, d'un lieu à un autre, par érosion ou sédimentation, doit être accompagné d'un abaissement de la croûte dans la zone surchargée et par une surélévation de la croûte dans les régions non chargées. C'est ce qui explique l'affaissement de l'écorce terrestre à l'embouchure des grandes rivières et l'élévation correspondante des plateaux intérieurs et de presque toutes les régions montagneuses que nous connaissons. Il semble qu'il en a été de même à toutes les époques géologiques, car il est évidemment impossible que 12,000 mètres de sédiments se soient accumulés dans la région des Appalaches pour former la chaîne de ce nom, sans qu'il y ait eu un tassement correspondant avec renouvellement de la sédimentation.

Or, si l'importance du principe est hors de discussion, le point jusqu'où peut s'étendre son application offre quelque matière au doute. L'action des causes extérieures, telles que le transport de la surcharge par érosion et sédimentation, est comparativement si simple et si aisée à comprendre, qu'on est presque tenté de négliger ces éléments, puisqu'ils ne doivent servir qu'à modifier et compléter les mouvements fondamentaux dus à des causes intérieures. On est ainsi porté à généra-

Digitized by Google

liser et à conclure que tout affaissement résulte d'une augmentation et toute élévation d'une diminution de poids. Cette cause des mouvements est probablement réelle, mais elle n'est pas la principale. Si la proposition est vraie, la proposition contraire peut l'être tout autant. Il est certain que des sédiments épais peuvent causer le tassement, mais il ne l'est pas moins que ce tassement (quelle que soit sa raison) sera toujours accompagné d'une nouvelle sédimentation. Il est vrai que le déplacement de la matière par l'érosion donnera lieu à un surélèvement correspondant, mais il ne l'est pas moins que le surélèvement peut être, par érosion, la cause du déplacement des matériaux.

Reprenons comme exemple la région des plateaux. Nous avons vu que pendant les époques carbonifère, permienne, triasique, jurassique et crétacée, cette région s'est affaissée jusqu'à ce que, à la fin de cette dernière époque, la croûte terrestre se trouvât abaissée de 3,500 à 4,500 mètres. Penserons-nous que cet abaissement soit dû au poids croissant des sédiments? Pourquoi sa situation se serait-elle changée ainsi? Et pourquoi, à la fin de l'époque crétacée et lorsque le poids était devenu le plus fort, a-t-elle commencé à s'élever? Car depuis lors jusqu'à présent, elle s'est élevée de 6,000 mètres. De cette épaisseur, environ 3,500 mètres ont été déplacés par érosion et 2,500 mètres d'élévation sont demeurés intacts. Or, si cette élévation est le résultat du déplacement du poids par érosion, comment se fait-il qu'un déplacement de 3,500 mètres ait produit une élévation de 6,000 mètres? Ce résultat s'explique si l'élévation a été la cause et l'érosion l'effet, car l'effet doit être en retard sur la cause. Il est donc évident qu'il faut chercher ailleurs, c'est-à-dire dans l'intérieur de la Terre, la cause fondamentale, bien que les effets de cette cause intérieure puissent être augmentés et continués par l'addition ou le déplacement de masses pesantes.

La meilleure preuve de la différence entre les deux causes des mouvements se trouve dans les oscillations de la période quaternaire. Je dis la meilleure, parce que, dans ce cas, les effets des deux peuvent être considérés séparément; ceci étant dû à ce que la charge ne provient pas d'un simple déplacement, et que, par conséquent, le déplacement ne dépend pas du plus ou moins de poids. Dans ce cas donc, l'élévation est en rapport avec la charge et se fait en dehors de lui. Nous savons que le surélèvement a commencé pendant la dernière époque tertiaire et qu'il a été le plus fort pendant l'ancienne période glaciaire. Ce surélèvement est une cause au moins, sinon la principale, de l'accumulation du froid et de la glace, mais il a continué malgré l'accroissement

Digitized by Google

du poids de la glace. Finalement cependant, le poids accumulé a dominé la force du surélèvement et la surface qui s'élevait a commencé à baisser; mais ce fait ne s'est produit que parce que les forces intérieures qui y contribuaient commençaient à s'épuiser. L'affaissement a amené alors un adoucissement du climat, la fonte de la glace, un déplacement du poids et, par suite, le relèvement de la croûte telle que nous la voyons, mais à un niveau beaucoup moindre qu'il n'était antérieurement, parce que les forces d'exhaussement, quelles qu'elles fussent, s'étaient elles-mêmes épuisées. Si ce n'avait été la charge de glace, je suppose qu'au lieu de la double oscillation qui se produisit, il y aurait une simple courbure de relèvement, retombant ensuite à l'état actuel, mais s'élevant un peu plus haut et un peu plus tard que ce que nous connaissons.

Une autre question encore est de savoir combien d'espace il faut pour que s'opère l'*isostasie*. Quelle étendue et quel degré d'inégalité de surface peuvent être soutenus par la seule rigidité de la Terre?

Les observations récentes du pendule faites par Putnam à travers les continents, et discutées par Gilbert, indiquent un degré de rigidité plus grand qu'on ne l'ait encore supposé. Elles démontrent que l'arc continental est tout entier soutenu par l'*isostasie* (c'est-à-dire par le défaut de densité au-dessous du niveau de la mer — la surface continentale étant plus légère à mesure qu'elle s'élève) et que, cependant, les grandes chaînes comme les montagnes des Appalaches, du Colorado et de Wasatch n'indiquent aucun de ces moyens d'appui. Elles sont soutenues simplement par la rigidité de la Terre, et les grands plateaux eux-mêmes (par exemple celui du Colorado, qui a une étendue de 442 kilomètres) le sont presque uniquement de la même manière.

Chaînes de montagnes monoclinales.

Il y a peu de temps encore, on pensait que les chaînes de montagnes avaient toutes été formées de la même façon, à savoir : par une poussée latérale qui, en repliant les couches, avait opéré un renflement de la masse le long de la ligne de moindre résistance. C'est à Gilbert que revient l'honneur d'avoir attiré l'attention sur un autre type, qu'on ne trouve nettement indiqué que dans la région des plateaux et des bassins, et spécialement dans cette dernière, à savoir : le type produit par la disposition irrégulière des blocs de la croûte terrestre entre de grandes fissures. Les deux types de montagnes forment un contraste

Digitized by Google

absolu sous tous les rapports : l'un est de structure anticlinale, l'autre de structure monoclinale; le premier résulte d'une pression latérale et d'un plissement des couches, l'autre d'une projection des blocs latérale et irrégulière. Pour ce qui regarde leur origine, l'un prend naissance sur la limite des fonds marins, l'autre s'est formé dans la croûte continentale. Si on les classe d'après leur forme, les deux types possèdent des traits identiques : ce sont tous deux des chaînes de montagnes. Mais si on les classe d'après les forces qui les ont produits, ils appartiennent à des groupes entièrement différents des mouvements de la Terre. L'un appartient au second groupe mentionné ci-dessus; l'autre au troisième et au quatrième groupe, puisque le surélèvement des plateaux, le gonflement de la croûte et la tension qui en résulte font partie du troisième groupe, c'est-à-dire celui des mouvements oscillatoires; tandis que la formation proprement dite des montagnes, c'est-à-dire le déplacement des roches et leur disposition irrégulière, appartiennent au quatrième groupe ou *isostasie*, lequel est un résultat absolu du rétablissement d'équilibre isostatique et constitue un des meilleurs exemples du principe. On voit par là que l'*isostasie* peut agir, dans des conditions favorables, sur une échelle comparativement petite. Les différences qui existent entre les deux types de montagnes sont donc évidentes; ces types dérivent de catégories tout à fait distinctes des forces intérieures, et, dans le fait, tous deux ne sont pas des montagnes dans le même sens du mot. C'est pour cette raison que dans mon travail sur la conformation des montagnes, j'ai classé le second type parmi les crêtes plutôt que parmi les chaînes. Actuellement, j'en suis venu à penser qu'il vaut mieux diviser les chaînes en deux types, mais sans oublier la grande différence qui existe entre eux.

Conclusions.

Résumons-nous en quelques mots : Il existe deux espèces primitives et permanentes de mouvements de la croûte terrestre, à savoir : *a*) ceux qui produisent les grandes inégalités à la surface de la Terre, les bassins océaniques et les masses continentales; *b*) ceux qui, par une contraction intérieure, déterminent les montagnes à structure plissée. Ces mouvements sont eux-mêmes dus à des forces intérieures qui affectent la Terre entière; le premier provient d'une contraction radiale inégale, le second d'une contraction concentrique inégale, c'est-à-dire une contraction plus intérieure qu'extérieure. Il y a aussi deux espèces secon-

Digitized by Google

daires de mouvements, qui modifient et souvent cachent les effets des deux autres, de manière à faire mal interpréter ceux-ci; ce sont *c*) les mouvements oscillatoires, affectant souvent de grandes surfaces, qui ont été les plus communs et les plus marquants de tous les mouvements à toutes les époques géologiques, et sont encore actuellement les seuls bien visibles et mesurables, mais auxquels aucune cause n'a été assignée et auxquels aucune théorie rationnelle n'a pu être appliquée; et *d*) les mouvements isostatiques qui transportent la matière de place en place par érosion et par sédimentation, ou bien par l'accumulation et le retrait de la glace, et encore par l'équilibration de grandes portions de la croûte. Si les mouvements oscillatoires (*c*) masquent ou affaiblissent les effets de la formation des bassins et des continents, l'*isostasie* (*d*) cache et obscurcit l'interprétation de toutes les autres opérations et spécialement (*b* et *c*) celles des forces qui élèvent les montagnes, et les forces des mouvements oscillatoires. En réalité, l'*isostasie* passe, dans l'esprit de certains savants, pour avoir la haute main sur tout ce qui concerne les mouvements de la croûte terrestre. Aucun progrès ne pourra, du reste, être fait sur ce terrain tant que nous n'aurons pas établi nettement la distinction entre ces différents mouvements et leurs causes.

Digitized by Google

Digitized by Google

LISTE GÉNÉRALE

Arrêtée le 17 Février 1898

DES MEMBRES

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

FONDÉE A BRUXELLES, LE 17 FÉVRIER 1887 (1)

Membre Protecteur.

Le Bourgmestre de la Ville de Bruxelles.

Membres Honoraires.

1 * BARROIS, Ch., Professeur-adjoint à la Faculté des sciences (Université de Lille), 37, rue Pascal, à Lille, et rue Chomel, 9, à Paris.

2 BERTRAND, C.-Eg., Professeur de botanique à la Faculté des sciences de l'Université de Lille, 14, rue d'Alger, à Amiens.

3 BERTRAND, Marcel, Membre de l'Institut de France, Ingénieur en chef des mines, Professeur de géologie à l'École supérieure des Mines, 75, rue de Vaugirard, à Paris.

4 BONNEY, Rév. Thomas George, Professeur de géologie et de minéralogie à University College, 23, Denning Road, Hampstead. London N. W.

5 BRÖGGER, W. C., Professeur à l'Université de Christiania.

6 * CAPELLINI, Giovanni (le Commandeur), Professeur de géologie à l'Université, via Zamboni, à Bologne (Italie).

7 CREDNER, Dr Hermann, Directeur du Service royal géologique de Saxe, Professeur à l'Université de Leipzig.

8 * DAMES, Wilhelm, Professeur à l'Université, 82, Fasanen-Strasse, à Berlin W.

9 FOUQUÉ, F., Membre de l'Institut de France, Professeur au Collège de France, 23, rue Humboldt, à Paris.

(1) Les noms des **fondateurs** se trouvent, dans la liste ci-dessous, précédés d'un astérisque *. Les noms des *membres à vie* sont précédés de deux astérisques **.

Digitized by Google

10 GAUDRY, Albert, Membre de l'Institut de France, Professeur de paléontologie au Muséum d'histoire naturelle, 7*bis*, rue des Saints-Pères, à Paris.

11 * GEIKIE, Archibald, LL. D.; F. R. S., Directeur général des services géologiques de Grande-Bretagne et d'Irlande; 28, Jermyn-Street, London S.W.

12 * GEIKIE, James, LL. D.; F. R. S., Professeur de géologie et de minéralogie à l'Université d'Édimbourg, 31, Merchiston Avenue, Edinburgh.

13 GEINITZ, H. B., Conseiller aulique. Directeur du Musée royal minéralogique, à Dresde (Saxe).

14 * GOSSELET, Jules, Correspondant de l'Institut de France, Professeur de géologie à la Faculté des sciences (Université de Lille), 18, rue d'Antin, à Lille.

15 HALL, James, Géologue de l'État et Directeur du Musée national d'histoire naturelle, à Albany (État de New-York).

16 HAUCHECORNE, Directeur du Service de la Carte géologique et de l'École des mines, 44, Invalidenstrasse, à Berlin N.

17 HAUER (Chevalier Fr. VON), Intendant général du Musée I. R. d'Histoire naturelle de la Cour, à Vienne (Autriche).

18 HEIM, Alb., Professeur à l'Université de Zurich, à Hottingen (Zurich).

19 HUGHES, Thomas, Mac Kenny, Professeur de géologie à l'Université de Cambridge, Woodwardian Museum, Trinity College, Cambridge (Angleterre).

20 ISSEL, Arthur, Professeur à l'Université, 3, Via Giapollo, à Gênes.

21 * JONES, T. Rupert, F. R. S., 17, Parson's Green, Fulham, Londres S. W.

22 JUDD, J. W., Professeur de géologie à l'École royale des Mines, London S. W.

23 KARPINSKY, Alex. Petrow., Membre de l'Académie impériale des sciences de Saint-Pétersbourg, Directeur du Comité géologique de Russie, Professeur à l'École des Mines.

24 KOENEN (A. VON), Dr, Professeur de géologie et de paléontologie à l'Université de Göttingen. (Allemagne.)

25 LAPPARENT (Albert DE), Membre de l'Institut de France, Professeur de géologie et de minéralogie à l'École libre des Hautes études (Institut catholique de Paris), 3, rue de Tilsitt, à Paris.

26 * LOEWINSON-LESSING, F., Professeur de géologie à l'Université de Jourieff (Dorpat), Russie.

27 MARSH, O. C., Prof., Yale College, New-Haven (Connecticut).

28 MICHEL LÉVY, A., Membre de l'Institut de France, Directeur du service de la carte géologique de France, 22, rue Spontini, à Paris.

29 MOJSISOVICS VON MOJSVAR, Edmund, Obergrath et Géologue en chef de l'Institut I. R. géologique d'Autriche, 26, Strohgasse, à Vienne.

30 NIKITIN, Serge, Géologue en chef du Comité géologique de Russie, Institut des mines, à Saint-Petersbourg.

31 * POTIER, Alfred, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École polytechnique 89, boulevard Saint-Michel, à Paris.

32 * RENEVIER, Eugène, Professeur de géologie à l'Université de Lausanne, Haute-Combe, près Lausanne (Suisse).

33 RICHTHOFEN (Baron VON), Professeur de géographie à l'Université de Berlin, 117, Kurfürstenstrasse, à Berlin.

Digitized by Google

34 * RISLER, Eugène, Directeur de l'Institut national agronomique de France, 106*bis*, rue de Rennes, à Paris.

35 * ROSENBUSCH, Dr H., Professeur de géologie à l'Université d'Heidelberg.

36 * ROUVILLE (A.-P. DE), Doyen et Professeur honoraire de géologie à la Faculté des sciences de l'Université de Montpellier (Hérault).

37 SACCO, Federico, Professeur de paléontologie à l'Université, Palais Carignan, à Turin.

38 SANDBERGER (Dr Fridolin, VON), Professeur de géologie et de minéralogie, à Wurtzbourg (Bavière).

39 SUESS, Édouard, Professeur à l'Université de Vienne.

40 TRAQUAIR, R. H., M. D., LL. D., F. R., S., Conservateur des collections d'histoire naturelle au Musée des Sciences et des Arts, à Édimbourg (Écosse).

41 WOODWARD, A. Smith, Conservateur-adjoint au Département géologique du British Museum of Natural History, Cromwell Street, à Londres.

42 ZIRKEL, Prof. Dr F., Professeur de géologie à l'Université de Leipzig, 15, Thalstrasse, à Leipzig.

43 * ZITTEL (Karl, VON), Docteur en philosophie, Professeur à l'Université de Munich, Directeur du Musée royal de paléontologie, à Munich.

Membres Associés Étrangers.

1 BOULE, Marcelin, Docteur ès-sciences, Assistant de paléontologie au Muséum d'Histoire naturelle de Paris.

2 CHOFFAT, Paul, Attaché au Service géologique du Portugal, 113, rue do Arco a Jesus, à Lisbonne (Portugal).

3 * DOLLFUS, Gustave, ancien Président de la Société géologique de France, Collaborateur principal au Service de la Carte géologique de France, 45, rue de Chabrol, à Paris.

4 * DUNIKOWSKI (Émile, Chevalier DE), Dr Phil., Privatdocent à l'Université de Lemberg (Galicie).

5 * FORESTI, Ludovico, Docteur en médecine, Aide-naturaliste de géologie et de paléontologie au Musée de l'Université de Bologne (Italie).

6 GOLLIEZ, A., Professeur de géologie à l'Université de Lausanne.

7 * KARRER, Félix, Attaché au Musée I. R. minéralogique de la Cour, à Vienne (Autriche).

8 LAMBERT, Jules, Paléontologiste, Juge au Tribunal civil, 14, rue Coquebert, à Reims (Marne).

9 LANG, Otto, 47, Callinstrasse, Hanovre (Allemagne).

10 LORIÉ, J., Docteur ès-sciences, Privatdocent à l'Université, 7, Ambachtstraat, à Utrecht (Pays-Bas).

11 LOTTI, Bernardino, Docteur, Ingénieur au Corps des Mines, à Rome.

12 MARTEL, E.-A., Secrétaire général de la Société de Spéléologie, 8, rue Ménars, à Paris.

13 MAYER-EYMAR, Charles, Dr ès-sciences, Professeur de paléontologie à l'Université de Zurich (Suisse).

Digitized by Google

14 MEUNIER, Stanislas, Professeur de géologie au Muséum d'histoire naturelle, 7, boulevard Saint-Germain, à Paris.

15 MUNIER-CHALMAS, Professeur de géologie à la Sorbonne (Faculté des sciences de l'Université de Paris), à Paris.

16 PICARD, Karl, Membre de diverses Sociétés savantes, Nordhauserstrasse, 2, à Sondershausen (Allemagne).

17 POHLIG, Dr Hans, Professeur à l'Université de Bonn (Prusse).

18 STURTZ, B., Dr du Comptoir minéralogique et paléontologique de Bonn, 2, Riesstrasse, à Bonn.

19 TACHINI, Directeur de l'Observatoire du Collège Romain, à Rome.

20 TAINE, Albert, Pharmacien de 1re classe, 82, rue de Passy, à Paris.

21 TOUTKOWSKY, Paul, Conservateur du Cabinet minéralogique et géologique de l'Université de Kiew (Russie).

22 WINCHEL, Alexandre, L. L. D., Professeur de géologie et de paléontologie à l'Université de Michigan, à Ann Arbor, État de Michigan (États-Unis d'Amérique).

Membres effectifs.

1° *Membres à perpétuité.*

1 Administration communale de la VILLE DE BRUXELLES.

2 Administration communale de la VILLE DE VERVIERS. (*Délégué :* M. Sinet.)

3 Maison SOLVAY & Cie, Industriels, à Bruxelles.

4 Administration communale de la VILLE DE BINCHE.

5 Administration communale de la VILLE DE GAND.

6 Société anonyme des Travaux d'eau, à Anvers. (*Délégué :* M. Ad. Kemna.)

7 Administration communale de la VILLE D'OSTENDE. (*Délégué :* M. Verraert.)

2° *Membres effectifs.*

8 ANDRÉ, E., Inspecteur des chemins vicinaux au Ministère de l'Intérieur et de l'Instruction publique, 32, rue de Venise, à Ixelles.

9 ANDROUSSOFF, Professeur de géologie à l'Université de Jourieff (Dorpat).

10 ANNOOT, J.-B., Professeur honoraire à l'Athénée royal de Bruxelles, 74, rue Gallait, à Schaerbeek.

11 ARCTOWSKI, H., 42, rue d'Harschamp, à Liége.

12 AUBRY, Camille, 19, rue Tasson-Snel, à Bruxelles.

13 AXER, A. H., Entrepreneur de puits artésiens, 300, chaussée d'Anvers, à Bruxelles.

14 BAILLY, Membre de la Chambre des Représentants, à Morlanwelz.

15 BAUWENS, Léonard, Receveur des contributions, 33, rue de la Vanne, à Bruxelles.

16 BAYET, Adrien, Propriétaire, 33, Nouveau Marché-aux-Grains, à Bruxelles.

17 BAYET (le Bon Ernest), Paléontologiste, 58, rue Joseph II, à Bruxelles.

18 BAYET, Louis, Ingénieur, à Walcourt (province de Namur).

19 BENNERT, Victor, 29, rue Jourdan, à Saint-Gilles.

Digitized by Google

20 BERGERON, Jules, Président de la Société géologique de France, Professeur de géologie à l'École centrale des Arts et Manufacture, 157, boulevard Haussmann, à Paris.

21 BERNAYS, Ed., Avocat, 42, avenue Van Eyck, à Anvers.

22 BERNUS, Louis, Propriétaire, 16, rue du Moulin, à Charleroi.

23 BESMES, Victor, Inspecteur-voyer, 32-34, rue Jourdan, à Saint-Gilles lez-Bruxelles.

24 * BLANCHART, Camille, Ingénieur honoraire des mines, 36, rue de Pascale, à Bruxelles.

25 BLANKENBERGHE (Administration communale de la ville de).

26 * BLONDIAUX, Auguste, à Thy-le-Château (province de Namur).

27 BOCKSTAEL, Émile, Bourgmestre de la commune de Laeken, Conseiller provincial, 274, avenue de la Reine, à Laeken.

28 BOTTI, Ulderigo, à Reggio-Calabria (Italie).

29 BOULANGÉ (l'Abbé), Hydrologue, Château de Cruyshautem (Flandre orientale).

30 BOUHY, Victor, Docteur en droit, 58, rue d'Archis, à Liége.

31 BOURDARIAT, Alexandre, à Moirans (Isère), France.

32 BOURGEAT (l'Abbé), Professeur à l'Institut catholique de Lille (Nord).

33 BOURGOIGNIE, Léonce, Ingénieur principal des ponts et chaussées, 7, rue de Bruxelles, à Termonde.

34 BRICHAUX, A., Chimiste à la Société Solvay, 226, rue de la Victoire, à Bruxelles.

35 BROUHON, L., Ingénieur des eaux de la ville de Liége, Hôtel de Ville, Liége.

36 BURROWS, Henry William, Architecte, 17, Victoria Street, Westminster, London S. W.

37 CAMPION, Maurice, Ingénieur, à Vilvorde.

38 * CAREZ, Léon, Docteur ès-sciences, Directeur de l'Annuaire géologique universel, 18, rue Hamelin, à Paris.

39 * CAUDERLIER, Émile, Industriel, 8, rue Crayer, à Bruxelles.

40 * CAUDERLIER, Gustave, Ingénieur, Industriel, 221, chaussée de Vleurgat, à Bruxelles.

41 CHOMÉ, F., Professeur à l'École militaire, 41, avenue de l'Hippodrome, à Ixelles.

42 COBBAERT, G., 82, rue Longue, à Ostende.

43 COBBAERT, Louis, Industriel, à Ninove.

44 COGELS, P., Géologue, au Château de Boeckenberg, à Deurne (Anvers).

45 COMBAZ, Paul, Professeur à l'Académie des Beaux-Arts, 10, rue de la Banque, à Bruxelles.

46 CORDEWEENER, Jules, Ingénieur, 5, rue d'Angleterre, à Bruxelles.

47 CORNET, J., Dr ès-sc., Professeur de géologie à l'École des Mines de Mons, 13, boulevard Charles-Quint, à Mons.

48 COSSOUX, Léon, Ingénieur civil, ex-Ingénieur du Gouvernement russe au Caucase, 28, rue de Bériot, à Saint-Josse-ten-Noode.

49 CROCQ, Jean, Docteur en médecine, ancien Sénateur, Professeur à l'Université libre, 138, rue Royale, à Bruxelles.

50 * CUMONT, Georges, Avocat près la Cour d'appel, 19, rue de l'Aqueduc, à Bruxelles.

Digitized by Google

51 CUVELIER, Eugène, Capitaine commandant du Génie, Professeur à l'École militaire, 31, rue de Milan, à Ixelles.

52 CUYLITS, Jean, Docteur en médecine, 44, boulevard de Waterloo, à Bruxelles.

53 DAIMERIES, A., Professeur à l'Université libre, 4, rue Royale, à Bruxelles.

54 DAPSENS, Directeur-Propriétaire de carrières, à Ivoir lez-Dinant.

55 * DATHE, Ernst, Dr Phil., Géologue du Service royal géologique de Prusse, 44, Invalidenstrasse, à Berlin N.

56 * DAUTZENBERG, Philippe, Paléontologiste, 213, rue de l'Université, à Paris.

57 DE BAUVE, Ingénieur en chef des ponts et chaussées du département de l'Oise, à Beauvais (France .

58 DE BUSSCHERE, A.. Conseiller à la Cour d'appel, 82, rue Mercelis, à Ixelles.

59 DE CEULENEER, A., Professeur à l'Université de Gand, 5, rue de la Confrérie, à Gand.

60 DE GRAEF, Joseph, Négociant, 21, rue Oudenkoven, à Borgerhout lez-Anvers.

61 DE KEYSER, J. R., Conseiller provincial et communal, à Renaix.

62 DEJARDIN, L., Directeur des Mines, 186, rue du Trône, à Ixelles.

63 DELHEID, Ed., Paléontologiste, 71, rue Veydt, à Ixelles-Bruxelles.

64 * DELECOURT-WINCQZ, Jules, Ingénieur-Conseil de la Compagnie Internationale de recherches de mines et d'entreprises de sondage, 16, rue de la Pépinière, à Bruxelles.

65 DE NAEYER, Industriel, à Willebroeck (Brabant).

66 DE SCHRYVER, Ferdinand. Ingénieur principal des ponts et chaussées, 29, rue du Prince royal, à Ixelles.

67 DETHY, Théophile, Ingénieur des ponts et chaussées, 48, rue du Pepin, à Namur.

68 DE VISSCHER, J., Ingénieur agricole, 31, rue de la Sablonnière, à Bruxelles.

69 DEVREUX, E., Architecte, Échevin des Travaux publics, 23, rue du Pont-Neuf, à Charleroi.

70 DEWILDE, Prosper, Professeur de chimie à l'Université, 339, avenue Louise, à Bruxelles.

71 DEWINDT, Préparateur au Laboratoire de minéralogie de l'Université de Gand, rue Roger, à Gand. (En mission scientifique au Congo, en 1898.)

72 D'HONDT, F., Directeur du Laboratoire agricole et industriel, à Courtrai.

73 DIDION, J., Constructeur d'appareils de sondages, 32, rue De Joncker, à Saint-Gilles-Bruxelles.

74 DOLLO, Louis, Ingénieur civil, Conservateur au Musée royal d'histoire naturelle, 31, rue Vautier, à Bruxelles.

75 DONCKIER DE DONCEEL, rue Hemricourt, 29, à Liége.

76 DONEUX, A., Lieutenant-colonel en retraite, 22, rue de Fragnée, à Liége.

77 DORLODOT (Abbé Henry DE), Professeur à l'Université catholique, 18, rue Léopold, à Louvain.

78 DORMAL, Victor, docteur en sciences naturelles, Professeur à l'Athénée, Secrétaire général de la Société géologique du Luxembourg, 17, Faubourg de Bastogne, à Arlon.

79 * DOTREMONT, Victor, Sondeur, à Hougaerde, près Tirlemont.

Digitized by Google

80 DOUVILLÉ, Henri, Ingénieur en chef des mines, Professeur de Paléontologie à l'École des mines, 207, boulevard Saint-Germain, à Paris.

81 DUBOIS, Eugène, Docteur ès-sciences, 12, Sweelinckplein, à La Haye.

82 ** DUPONT, Édouard, Directeur du Musée royal d'histoire naturelle de Belgique, 31, rue Vautier, à Bruxelles.

83 * DURAFFOUR, Ferdinand, Entrepreneur de sondages, à Tournai.

84 DUTERTRE, Émile, Docteur en médecine, 12, rue de la Coupe, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais), France.

85 ERENS, Alphonse, Docteur en sciences naturelles, Villa Strabbeek, à Houthem, près Fauquemont (Limbourg Hollandais).

86 * FALK-FABIAN, Théodore, Directeur de l'Institut national de géographie, 15-17, rue du Parchemin, à Bruxelles.

87 * FÉLIX, J., Docteur en médecine, 10, rue Marie-de-Bourgogne, à Bruxelles.

88 * FENDIUS, Émile, Ingénieur en chef des ponts et chaussées, à Liége.

89 FICHEFET, E., Entrepreneur, Membre de la Chambre des Représentants, 13, Boulevard du Hainaut, à Bruxelles.

90 FICHEFET, Jean, Entrepreneur de travaux publics, 36, rue de Russie, à Saint-Gilles lez-Bruxelles.

91 FISCH, A., 70, rue de la Madeleine, à Bruxelles.

92 * FORNASINI, Carlo, Docteur ès-sciences, via della Lame, 24, à Bologne (Italie).

93 * FRANÇOIS, Christophe, Ingénieur, 50, rue d'Orléans, à Ixelles-Bruxelles.

94 * FRIEDRICHS, H., 4, rue de Naples, à Ixelles-Bruxelles.

95 * FRIREN, Auguste, Professeur au Petit-Seminaire, à Montigny lez-Metz (Alsace-Lorraine).

96 FRITSCH, Dr, Ant., Professeur à l'Université de Prague, 66, Wenzelplatz, à Prague.

97 GALASSE, Jules, Constructeur, 42, rue Birmingham, à Molenbeek-Saint-Jean lez-Bruxelles.

98 GERARD, L., Professeur à l'Université de Bruxelles, Directeur-Adjoint de l'Institut Solvay, 6, rue du Méridien, à Bruxelles.

99 * GHESQUIÈRE, Paul, Officier d'État-major en retraite, 33, chaussée de La Hulpe, à Boitsfort.

100 GHILAIN, Philibert, Ingénieur en chef, Directeur de service aux chemins de fer de l'État, 38, rue Vander Schrick, à Saint-Gilles lez-Bruxelles.

101 ** GIBBS, William, B., Membre de diverses Sociétés savantes, Thornton, Beulah Hill, Upper Norwood, à Londres.

102 GILBERT, Théod., A.-F., Docteur en médecine, 26, avenue Louise, à Bruxelles.

103 GILLET, Lieutenant du Génie, Répétiteur à l'École militaire, 25, rue Van den Broeck, à Ixelles-Bruxelles.

104 GILSON, G., Professeur à l'Université catholique, 95, rue de Namur, à Louvain.

105 GIULIANI, V., 39, Fontanka, à Saint-Pétersbourg.

106 GOBIET, Ernest, Chimiste, à Fexhe-le-Haut-Clocher, par Waremme.

107 GOBLET D'ALVIELLA (comte Eugène), Propriétaire, au château de Court-Saint-Étienne et 10, rue Faider, à Bruxelles.

Digitized by Google

108 GOFFART, J.-L., Lithographe, 181, rue du Progrès, à Bruxelles.

109 GOLDSCHMIDT, Paul, Ingénieur, 17, rue des Deux-Églises, à Bruxelles.

110 GOLDSCHMIDT, Robert, Candidat en Sciences, 17, rue des Deux-Églises, à Bruxelles.

111 ** GOTTSCHE, Karl., Docteur en philosophie, Conservateur au Musée d'histoire naturelle, à Hambourg.

112 GOURRET, Paul, Docteur ès-sciences, Professeur suppléant à l'École de plein exercice de médecine de Marseille, 15, rue du Village, à Marseille.

113 GROSSOUVRE (DE), A., Ingénieur en chef des mines, à Bourges (France).

114 GUCHEZ, F., Inspecteur des explosifs, 94, rue de Cologne, à Schaerbeek.

115 * HABETS, Alfred, Ingénieur, Professeur à l'Université de Liége, 3, rue Paul Devaux, à Liége.

116 HAINAUT, Edgard, Ingénieur des ponts et chaussées, 45, chaussée de Lille, à Tournai.

117 HALLEUX A., Ingénieur en chef des Mines, 5, rue Joniaux, à Bruxelles.

118 HANNON, Ed., Ingénieur, rue de la Concorde, 43, à Ixelles-Bruxelles.

119 HANKAR, Albert, 98, rue de l'Enseignement, à Bruxelles.

120 HANKAR, Paul, Architecte, 63, rue De Facqz, à Bruxelles.

121 HANREZ, Prosper, Ingénieur, 190, chaussée de Charleroi, à Bruxelles.

122 HANS, J., Ingénieur civil, 101, rue du Commerce, à Bruxelles.

123 HARDENPONT, L., Sénateur, rue du Mont-de-Piété, à Mons.

124 HARMER, Dr, Oakland House, Cringleford, près Norwich (Angleterre).

125 * HARRIS, George, F., 23, St Saviour's Road, Brixton Hill, London S. W.

126 HARZÉ, Em., Directeur général des Mines, 213, rue de la Loi, à Bruxelles.

127 HASSENPFLUG, Dr, Phil., Chimiste, à Flers, près Croix-Wasquehal (Nord).

128 HENRICOT, Émile, Industriel, ancien Représentant, à Court-Saint-Étienne.

129 HENROZ, Camille, Directeur des manufactures de glaces, à Jambes (Namur).

130 HERMANS, Jean-Baptiste, Ingénieur aux chemins de fer de l'État belge, 4, rue de la Prévôté, à Bruxelles.

131 HEUSEUX, L., Ingénieur, Directeur-gérant des charbonnages de Courcelles-Nord, à Courcelles.

132 HEYMANS, Léon, Géomètre-Juré, Conducteur de travaux, à Rebecq-Rognon.

133 HOLZAPFEL (Docteur Édouard), Professeur à l'École technique supérieure, 3, Stephanstrasse, à Aix-la-Chapelle.

134 HOUBA, L., Secrétaire communal de la Résidence de Laeken, 159, rue Thielemans, à Laeken.

135 ** HOUZEAU DE LEHAIE, Auguste, Sénateur, à Hyon, près Mons.

136 * HOVELACQUE, Maurice, Docteur ès-sciences, 1, rue Castiglione, à Paris.

137 * IDIERS, Fernand, Industriel, à Auderghem.

138 ISBECQUE, Alfred, Ingénieur principal des chemins de fer de l'État, à Tournai.

139 * JACQUES, Victor, Docteur en médecine, Secrétaire général de la *Société d'Anthropologie de Bruxelles,* 36, rue de Ruysbroeck, à Bruxelles.

140 JANET, Charles, Ingénieur des Arts et Manufactures, à Beauvais (France).

Digitized by Google

141 JANET, Léon, Ingénieur au Corps des Mines, 87, boulevard Saint-Michel, à Paris.

142 JANSON, Paul, Avocat, Sénateur, 260, rue Royale, à Schaerbeek

143 JEANJEAN, Marc, Lieutenant du Génie, 11, rue de la Boverie, à Liége.

144 JÉROME, Alex., Professeur à l'Athénée, à Arlon.

145 JOHNSTON-LAVIS, H.-J. — M.; D. M. R. C. S., Professeur agrégé de l'Université royale de Naples; Beaulieu (Alpes-Maritimes, France (*hiver*); Harrogate Yorks, Angleterre (*été*).

146 JOTTRAND, Gustave, Avocat, ancien Représentant, 39, rue de la Régence, à Bruxelles.

147 KEMNA, Ad., Directeur de la Société anonyme des Travaux d'eau, 66, rue Montebello, à Anvers.

148 KERCKHOVE (DE), Oswald, ancien Représentant, 5, rue Digue de Brabant, à Gand.

149 KESTENS, Lieutenant adjoint d'État-Major, 216, chaussée de Wavre, à Ixelles.

150 KLEMENT, C., Dr Phil., Conservateur au Musée royal d'histoire naturelle de Belgique, 104, rue Belliard, à Bruxelles.

151 * KOCH, Dr Phil., Géologue du Service royal géologique de Prusse, 44, Invalidenstrasse, à Berlin N.

152 * KOKEN, Ernest, Dr Phil., Professeur de géologie à l'Université de Tübingen.

153 KRANTZ, Fritz, Dr Phil. Propriétaire du Comptoir minéralogique rhénan 36, Herwarthstrasse, à Bonn s/ Rhin.

154 * KUBORN, Hyacinthe, D. M., membre titulaire de l'Académie royale de médecine, Professeur d'hygiène à l'École normale, Président de la *Société de médecine publique*, 33, rue de Colard, à Seraing.

155 LAFITTE, J., Ingénieur, Maître de Carrières, à Fourmies (Nord).

156 LA FONTAINE (le Bon M. DE), château de Houyoux-Bilstain, par Dolhain.

157 LAHAYE, Charles, Ingénieur en chef, Directeur des ponts et chaussées, 23, rue de Schoppach, à Arlon,

158 LAMBERT, Guillaume, Ingénieur, 42, boulevard Bischoffsheim, à Bruxelles.

159 LANCASTER, Albert, Membre de l'Académie royale des sciences, Météréologiste-inspecteur à l'Observatoire royal, 263, avenue Brugman, à Uccle.

160 * LANG, Arthur, Industriel, à Passau-Nonnengut (Allemagne).

161 LARMOYEUX, Ernest, Ingénieur des Mines, 30, boulevard Dolez, à Mons.

162 LATINIS, Léon, Ingénieur-expert, à Seneffe.

163 LECHIEN, Adolphe, Ingénieur aux chemins de fer de l'État belge, 32, rue du Grand-Chien, à Anvers.

164 LEFÈVRE, Émile, Lieutenant du Génie, Répétiteur à l'École militaire, 7, avenue de Solbosch, à Ixelles.

165 * LEGRAND, François, Entrepreneur de travaux de mines, 68, avenue Legrand, à Uccle (Bruxelles).

166 ** LE MARCHAND, Augustin, Ingénieur civil, 2, rue Traversière, aux Chartreux, à Petit-Quévilly (Seine-Inférieure), France.

167 * LEMONNIER Alfred, Ingénieur, 60, boulevard d'Anderlecht, à Bruxelles.

168 LENTZ, Docteur en médecine, Directeur de l'Asile des aliénés de l'État belge, à Tournai.

Digitized by Google

169 LICKENS, Ingénieur, H., 85, rue Gallait, à Schaerbeek.

170 LIMBURG-STIRUM (Cte Adolp. DE), Membre de la Chambre des Représentants, 15, rue du Commerce, à Bruxelles.

171 LIPPMANN, Édouard, Ingénieur civil, Entrepreneur de puits artésiens et sondages, 47, rue de Chabrol, à Paris.

172 LOË (le Bon Alfred DE), Secrétaire général de la *Société d'archéologie de Bruxelles*, 11, rue de Londres, à Ixelles.

173 L'OLIVIER, H., 25, rue des Quatre-Vents, à Molenbeek-Saint-Jean.

174 * LONQUÉTY, Maurice Ingénieur civil des mines, 17, rue Saint-Jean, à Boulogne-sur-Mer.

175 LOSSEAU, Léon, Docteur ès-sciences, Directeur technique du Conditionnement, à Hodimont (Verviers).

176 MACPHERSON, Joseph, Géologue, 4, Calle de Exposicion, Bario de Monasterio, à Madrid.

177 MARGERIE (Emmanuel DE), Géologue et Géographe, premier Vice-Président de la *Société géologique de France*, 132, rue de Grenelle, à Paris.

178 MAROQUIN, A., Ingénieur, 258, rue Rogier, à Schaerbeek.

179 MASSEAU, Junius, Ingénieur principal des ponts et chaussées, Professeur à l'Université, 23, rue de Marnix, à Gand.

180 MASSON, Ch., Directeur du Laboratoire d'analyses de l'État belge, à Gembloux.

181 MATTHYS, M., Propriétaire armateur, 66, Vieux-Marché-au-Blé, à Anvers.

182 MAURER, R., Friedrich, Paléontologiste, Heinrichstrasse, 109, à Darmstadt.

183 MESENS, Ed., Membre de la Chambre des Représentants, 69, rue des Rentiers, Etterbeek (Bruxelles).

184 MESSENS, Ingénieur des Mines de la Vieille-Montagne, à Baelen-Wezel (Anvers).

185 MESTREIT, Gabriel, Ingénieur honoraire des mines, 51, Calle 25 de Mayo, à Buenos-Ayres (République Argentine).

186 MICHELET, Georges, Lieutenant du Génie, Répétiteur à l'École militaire, 455, chaussée de Waterloo, à Saint-Gilles lez-Bruxelles.

187 MIEG, Mathieu, Rentier, 48, avenue de Modenheim, à Mulhouse (Alsace).

188 MINOD, Henri, Directeur du Comptoir minéralogique et paléontologique, 6, rue Saint-Léger, à Genève.

189 MOENS, Jean, F.-J., à Lede, près d'Alost.

190 MOLENGRAAF, G.-A.-F. (Dr), Géologue de l'État, à Prétoria (Transvaal).

191 MONNOYER, Léon, Président de la Chambre syndicale des matériaux de construction, 252, avenue Louise, à Bruxelles.

192 MONTHAYE, Capitaine d'état-major, Professeur à l'École de guerre, 38, rue de la Tourelle, à Bruxelles.

193 MORIN, Pierre, Ingénieur à Sangatte (Pas-de-Calais).

194 * MOULAN, C.-T., Ingénieur, 266, avenue de la Reine, à Laeken.

195 MOURLON, M., Membre de l'Académie royale des sciences, Directeur du Service géologique de Belgique, 107, rue Belliard, à Bruxelles.

196 * MUNCK (Émile DE), artiste peintre, membre de diverses Sociétés savantes, Villa de Val-Marie, à Saventhem.

197 NAVEZ, L., Homme de lettres, 158, chaussée de Haecht, à Bruxelles.

Digitized by Google

198 NICOLIS, Enrico (Chevalier), Corte Quaranto, à Vérone.

199 ** NOETLING, Fritz, Docteur en philosophie, Paléontologiste du Service géologique des Indes anglaises, *Geological Survey Officè*. Calcutta.

200 NOWÉ, J.-B., Brasseur, Échevin de la commune de Vilvorde, 8, rue du Curé, à Vilvorde.

201 OEBBEKE, C., Professeur au Laboratoire minéralogique et géologique de l'École technique des Hautes-Études, à Munich.

202 OMBONI, Giovani, Professeur de géologie à l'Université de Padoue (Italie).

203 OPPENHEIM, P., Docteur en philosophie, Kantstrasse, 158[1], Charlottenburg, près Berlin.

204 * PASSELECQ, Albert, Ingénieur, Directeur du Charbonnage du Midi de Mons, 54, rue du Hautbois, à Mons.

205 PAQUET, Gérard-Th., Capitaine retraité, 92, chaussée de Forest, à Saint-Gilles lez-Bruxelles.

206 PAULIN-ARRAULT, A., Ingénieur-Sondeur, 69, rue Rochechouart, à Paris.

207 PAULIN BRASSEUR, Industriel, à Couillet (Hainaut).

208 * PELSENEER, Paul, Docteur ès-sciences, Professeur à l'École normale, 53, boulevard Léopold, à Gand.

209 PENY, Ed., Ingénieur, Secrétaire général des Charbonnages de Mariemont et Bascoup, à Morlanwelz.

210 * PERGENS, Édouard, Docteur en médecine, 10, avenue Marnix, à Bruxelles.

211 * PETERMANN, Arthur, Docteur ès-sciences, Directeur de la Station agronomique de l'État belge, à Gembloux.

212 PIERET, Victor, Ingénieur en chef provincial du Brabant, 19, rue des Deux-Églises, à Bruxelles.

213 PIERPONT (Édouard DE), au château de Rivière, à Profondeville s/Meuse.

214 * PIERRE, Gustave, Industriel, 31, rue de Ruysbroeck, à Bruxelles.

215 PINEUR, O., Ingénieur, aux chemins de fer de l'État belge, 116, rue Rogier, à Bruxelles.

216 * PIRET, Adolphe, Directeur du Comptoir belge de géologie et de minéralogie, Palais Saint-Jacques, à Tournai.

217 PLUMAT, Polycarpe, Directeur-Gérant du Grand-Buisson, à Hornu.

218 POIRY, Célestin, Maître de carrières, 225, avenue Louise, à Bruxelles.

219 POLIS, P., Directeur de la Station météorologique centrale, 29, Alphonestrasse, à Aix-la-Chapelle.

220 PORTIS, Alessandro, Professeur de géologie et de paléontologie à l'Université de Rome; Musée géologique de l'Université, à Rome.

221 POSKIN, Achille (Dr), 8, rue Léopold, à Spa.

222 PROOST, A., Directeur général de l'Agriculture, 3, rue Beyaert, à Bruxelles (*hiver*) et à Céroux-Mousty, par Ottignies (*été*).

222*b* * PURVES, John, Docteur en médecine, Conservateur honoraire au Musée royal d'histoire naturelle, 86, chaussée de Vleurgat, à Bruxelles.

223 * PUTTEMANS, Charles, Professeur de Chimie à l'École industrielle, 59, rue du Moulin, à Saint-Josse-ten-Noode lez-Bruxelles.

Digitized by Google

224 PUTZEYS, E., Ingénieur en chef des travaux de la Ville, 8, avenue de la Renaissance, à Bruxelles.

225 PUYDT (Paul DE), Ingénieur, 3, rue Bréderode, à Bruxelles.

226 RABOZÉE, H., Lieutenant du Génie, 18, rue du Conseil, à Ixelles.

227 RAMOND, G., Assistant de géologie au Muséum d'histoire naturelle (Paris), 25, rue Jacques Dulud, à Neuilly-sur-Seine.

228 ** REID, Clément, F. G. S., Attaché au service géologique de la Grande-Bretagne, 26, Jermyn-Street, London S. W.

229 * RENARD, Alphonse, LL. D., Membre de l'Académie royale des Sciences de Belgique, Professeur à l'Université de Gand, rue de la Station, à Wetteren.

230 RICARD, Samuel, Licencié ès-sciences, à Ault (Somme).

231 RICHALD, Joseph, Ingénieur des ponts et chaussées, 28, rue de Comines, à Bruxelles.

232 ROBERT, Paul, Ingénieur aux chemins de fer de l'État belge, 43, rue de Livourne, à Bruxelles.

233 ROELOFS, Paul, Industriel, 3, rue des Tanneurs, à Anvers.

234 ROLLAND, Émile, Industriel, 39, rue André Masquelier, à Mons.

235 ROME, T., Docteur en médecine, 14, rue Vautier, à Ixelles-Bruxelles.

236 ROUSSEAU, Ernest, Docteur en médecine, 159, rue du Trône, à Bruxelles.

237 ** RUTOT, Aimé, Ingénieur honoraire des Mines, Géologue, Conservateur au Musée royal d'histoire naturelle de Belgique, 177, rue de la Loi, à Bruxelles.

238 SCHACK DE BROCKDORF, Frédéric, G., Consul général de S. M. le Roi de Danemark, à Anvers.

239 SCHMITZ, (le R. P. Gaspar), S. J., Directeur du *Musée géologique des Bassins houillers belges*, à Louvain. (Adresse : Musée Houiller, Louvain.)

240 SCHMITZ, Th., Candidat Ingénieur agricole, 58, rue Saint-Joseph, à Anvers.

241 * SCHREVENS, Docteur en médecine, à Tournai.

242 SCHROEDER VAN DER KOLK, J. L. C., Docteur en médecine, Professeur de minéralogie et de géologie, Polytechnische School, à Delft (Hollande).

243 SELYS-LONGCHAMPS (Baron Edm DE), Sénateur, 34, boulevard de la Sauvenière, à Liége.

244 ** SELYS-LONGCHAMPS (Walter DE), Docteur en droit, Sénateur, à Halloy (Ciney).

245 * SEMET-SOLVAY, Louis, Ingénieur, 217, chaussée de Vleurgat, à Ixelles lez-Bruxelles.

246 * SEMPER J. Otto, au Musée d'Histoire naturelle de Hambourg.

247 SENZEILLES (Baron DE), au Château-Fontaine, par Anthée, province de Namur.

248 SEULEN, F., Ingénieur, Chef de section aux chemins de fer de l'État belge, à Bruxelles-Nord.

249 SEVEREYNS, G., Industriel, 197, rue des Palais, à Bruxelles.

250 SIMOENS, G., Docteur ès-Sciences minérales, 2, rue Latérale, à Bruxelles.

251 SLAGHMUYLDER, Charles, Ingénieur aux chemins de fer de l'État, 51, rue Saint-Bernard, à Saint-Gilles lez-Bruxelles.

252 SMETS, G. (l'Abbé), Inspecteur diocésain, 26, rue Fabry, à Liége.

253 * SOLVAY, Ernest, Industriel, rue des Champs-Élysées, 45, à Ixelles lez-Bruxelles.

Digitized by Google

254 SOMZÉE, L., Membre de la Chambre des Représentants, 22, rue des Palais, à Schaerbeek.

255 * SONVEAUX, Nestor-Vincent, Ingénieur, Géomètre-expert, 16, rue des Tonneliers, à Charleroi.

256 SPYERS, A., Docteur en médecine, 84, rue Bréderode, à Anvers.

257 SQUILBIN, Henri, Ingenieur, 8, avenue des Arts, à Anvers.

258 STAINIER, X., Membre de la Commission géclogique de Belgique, Professeur à l'Institut agricole, à Gembloux.

259 STEFANESCU, Gregoriù, Professeur de géologie à l'Université, Directeur du Bureau géologique, 8, Strada Verde, à Bucharest.

260 STEURS, A., Président de la *Compagnie intercommunale des eaux* et Bourgmestre de Saint-Josse-ten-Noode, 22, rue du Méridien, à St-Josse-ten-Noode.

261 STEVENSON, J. J., Professeur à l'Université de New-York, Washington-Square, à New-York.

262 * STORMS, Raymond, membre de diverses Sociétés savantes, au Château de Oirbeek, près Tirlemont.

263 STORMS, Ernest, Ingénieur. Chef de service au tramway vicinal, à Schepdael, par Lennick-Saint-Quentin.

264 TACQUENIER, Alexandre, Admr-délégué des Carrières Tacquenier, à Lessines.

265 TEDESCO, E., Chef d'État-major de la position de Liége, 17, rue Hulos, à Liége.

266 TEMPELS, P., Auditeur général de la Cour militaire, en retraite, 2, avenue Louise, à Bruxelles (*hiver*), 2, rue Vossegat, à Uccle (*été*).

267 TERLINDEN, Sénateur, 259, rue Royale, à Bruxelles.

268 THÉODOR, L., Avocat, Membre de la Chambre des Représentants, 22A, rue du Luxembourg, à Bruxelles

269 TIHON, F., Docteur en médecine, à Theux (province de Liége).

270 TIMMERHANS, L., Inspecteur général au Corps des mines, 13, rue Nysten, à Liége.

271 TOURNAI (Administration Communale de la Ville de).

272 URBAN, Ad., Dr de la Comp. des Carrières de Quenast, 17, place de l'Industrie, à Bruxelles.

273 URSEL (Comte Charles D'), Ministre plénipotentiaire et Envoyé extraordinaire de S. M. le Roi des Belges, au château de Gruythuyse, à Oostcamp.

274 VAN BELLINGEN, Constant, Ingénieur, 133, rue de la Source, à Bruxelles.

275 VAN BOGAERT, Clément, Ingénieur aux chemins de fer de l'État belge, 25, rue Dodoens, à Borgerhout lez-Anvers

276 VAN CALCKER, Dr F. J. P , Professeur à l'Université de Groningue (Pays-Bas).

277 VAN DAM, Ed., Étudiant, 138, avenue Louise, à Bruxelles.

278 ** VAN DEN BROECK, Ernest, Géologue, Conservateur au Musée royal d'histoire naturelle de Belgique, 39, place de l'Industrie, à Bruxelles

279 VANDENPERRE, Directeur-gérant des Brasseries Artois, à Louvain.

280 VAN DEN STEEN DE JEHAY (Comte F.), 13, rue de la Loi, à Bruxelles.

281 VAN DER BRUGGEN, Louis, Paléontologiste, Membre de diverses Sociétés savantes, 109, rue Belliard, à Bruxelles.

282 VANDERKINDERE, Léon, Professeur à l'Université libre de Bruxelles, 51, avenue des Fleurs, à Uccle.

Digitized by Google

283 VAN DER SCHUEREN, Pierre, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 9, rue du Jardin, à Ostende.

284 VAN HOEGAERDEN, Paul, Conseiller provincial, 7, boulevard d'Avroy, à Liége.

285 VAN MEURS, Ingénieur en chef des Travaux de la Ville de Mons, rue des Groseillers, à Mons.

286 VAN MIERLO, J.-C., Ingénieur à la « Compagnie internationale des Wagons-Lits et des Grands Express européens », 3, rue Fournial, à Paris.

287 VAN OVERLOOP, Eugène, Membre du Conseil de surveillance du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique, 8, rue Pascale, à Bruxelles.

288 * VAN SCHERPENZEEL-THIM, Jules, Ingénieur en chef, Directeur général honoraire des mines, 34, rue Nysten, à Liége.

289 VAN YSENDYCK, Paul, Ingénieur, 109, rue Berckmans, à Saint-Gilles lez-Bruxelles.

290 * VÉLAIN, Charles, Professeur de géographie physique à la Sorbonne, 9, rue Thénard, à Paris.

291 * VERSTRAETEN, Théodore, Directeur général de la « Compagnie générale pour l'éclairage et le chauffage au gaz », 28, rue Marie-de-Bourgogne, à Bruxelles.

292 WALIN, Ed., Ingénieur des ponts et chaussées, 83, rue des Deux-Tours, à Bruxelles.

293 WATTEYNE, V., Ingénieur principal des mines, 138, avenue de la Couronne, à Ixelles.

294 WAUTERS, J., Chimiste de la Ville, 83, rue Souveraine, à Ixelles.

295 WICHMANN, Arthur, Dr Phil., Professeur à l'Université d'Utrecht (Hollande).

296 WIELEMANS-CEUPPENS, Industriel, 110, avenue Van Volxem, à Forest lez-Bruxelles.

297 WIENER, Sam., Avocat, Conseiller provincial du Brabant, 9, avenue de l'Astronomie, à Bruxelles.

298 WILLEMS, J., Capitaine-commandant du Génie, 60, rue de Robiano, à Bruxelles.

299 WIRTGEN, P.-J., Major en retraite, 16, avenue du Midi, à Bruxelles.

300 * WITTOUCK, Paul, Industriel, 20, avenue de la Toison d'Or, à Bruxelles.

301 ‡ * ZLATARSKI, Georges, Géologue et Minéralogiste de la Principauté bulgare, à Sofia (Bulgarie).

Membres Associés Regnicoles.

1 AVANZO, Stephano, 4, place d'Armes, à Gand.

2 BASTIN, Ch., Ingénieur aux chemins de fer de l'État, à Bruxelles (Midi).

3 BAYET, Alphonse, Étudiant, 33, Nouveau Marché-aux-Grains, à Bruxelles.

4 BOMMER, Ch., Attaché au Jardin botanique de l'État, 19, rue des Petits-Carmes, à Bruxelles.

5 BOSMANS, Jules, 3, place du Champ de Mars, à Ixelles (Bruxelles).

6 BOULENGIER, O., Docteur en médecine, 104, rue de la Croix-de-Fer, à Bruxelles.

7 BOURGEOIS, L., Comptable au Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique, 50, rue de la Tourelle, à Etterbeek lez-Bruxelles.

Digitized by Google

8 BRUNEEL, Frédéric, Ingénieur aux chemins de fer de l'État, Gare du Nord, à Bruxelles.

9 COOMANS, L., Propriétaire, 3, rue des Brigittines, à Bruxelles.

10 CRESPIN, Adolphe, Artiste peintre, 34, rue de l'Artichaut, à Saint-Josse-ten-Noode.

11 DASSESSE, Charles, Ingénieur aux chemins de fer de l'État, 87, rue Ducale, à Bruxelles.

12 DAUPHIN, G., Chef de bureau au Ministère des chemins de fer, etc., 44, rue Vonck, à Schaerbeek.

13 DEBLON, A., Ingénieur de la Compagnie intercommunale des eaux, 7, rue de la Ruche, à Bruxelles.

14 DE BULLEMONT, Emm., 39, rue de l'Arbre-Bénit, à Bruxelles.

15 DELVILLE, Édouard, Chimiste, rue de Monnel, à Tournai.

16 DEVAIVRE, Lucien, Attaché à la Direction du Service géologique, 98, rue Philomène, à Schaerbeek.

17 DUFIEF, J., Professeur honoraire de géographie à l'Athénée royal de Bruxelles, Secrétaire général de la *Société royale belge de géographie de Bruxelles*, 116, rue de la Limite, à Saint-Josse-ten-Noode.

18 DUFOURNY, Ingénieur principal des ponts et chaussées, 104, rue de la Limite, à Saint-Josse-ten-Noode.

19 FLAMACHE, Armand, Ingénieur aux chemins de fer de l'État belge, Chargé de Cours à l'Université de Gand, 88, rue Philippe-le-Bon, à Bruxelles.

20 GOBERT, Auguste, Ingénieur, 222, chaussée de Charleroi, à Saint-Gilles.

21 GOFFINET, Th., Conducteur provincial, Commissaire voyer, à Braine-l'Alleud.

22 GOOSSENS, Ch., Chef de division à l'Administration des mines, 38, avenue de la Couronne, à Bruxelles.

23 GRANGE, Camille, Chef de section aux chemins de fer de l'État, 17, rue de l'Esplanade, à Bruxelles.

24 HANREZ, Georges, Étudiant, 190, chaussée de Charleroi, à Bruxelles.

25 HAUWAERT, M., Architecte, rue des Moulins, à Vilvorde.

26 HEGENSCHEID, Alfred, Instituteur à l'école moyenne B. de Bruxelles, 30, rue Gauthier, à Molenbeek-Saint-Jean.

27 HOUZEAU, Jean, Industriel, à Saint-Symphorien, près Mons.

28 ISABEAU, Valéry, Étudiant à l'Université libre, 52, rue de la Paix, à Ixelles.

29 LAMBIN, Ingénieur des ponts et chaussées, 6, rue Sans-Souci, à Ixelles.

30 LARA (Alfred DE), Ingénieur civil, à Raismes (Nord).

31 LUCION René, Docteur ès-sciences, 76, rue Maes, à Ixelles.

32 MALVAUX, Alfred, Héliographe, 43, rue de Launoy, à Molenbeek-St-Jean lez-Bruxelles.

33 MOURLON, Georges, Attaché à la Direction du Service géologique, 107, rue Belliard, à Bruxelles.

34 NAVEZ, A., 194, rue de la Poste, à Bruxelles.

35 NOEVER, J., Étudiant, 86, boulevard du Hainaut, à Bruxelles.

36 NOULET, Édouard, Industriel, à Bracquegnies (Hainaut).

Digitized by Google

37 ORTMANS, A., 3, rue du Remorqueur, à Bruxelles.

38 PAVOUX, Eugène. Industriel, 14, rue de Launoy, à Bruxelles.

39 PETIT, Julien. Peintre-décorateur, 15, rue de Berlin, à Ixelles-Bruxelles.

40 RYCKX, Jules, Ingénieur en chef. Directeur des ponts et chaussées, 150, chaussée de Charleroi, à Bruxelles (*hiver*), et Deeweg, à Uccle (*été*).

41 SCHWEISTHAL, Richard, Traducteur à l'Agence Havas, 9, rue d'Édimbourg, à Bruxelles.

42 SÉVERIN, G., Aide-naturaliste au Musée royal d'histoire naturelle, 99, avenue Nouvelle, à Etterbeek-Bruxelles.

43 VAN DEN BOGAERDE, H., Ingénieur aux chemins de fer de l'État belge, 68, rue Royale, à Bruxelles

44 VANDEVELD, Émile, Architecte, Conducteur des Travaux de la ville d'Ostende, 67, rue Albert, à Ostende.

45 VAN DRUNEN, James, Ingénieur, 9, rue des Champs-Élysées, à Ixelles-Bruxelles.

46 VAN LINT, Victor-J., Ingénieur civil, Inspecteur des Eaux de la ville de Bruxelles, 73, avenue Michel-Ange, à Bruxelles N.-E.

47 VAN YSENDYCK, Maurice, Architecte, Attaché à la Commission royale des Monuments, 58, rue de la Source, à Saint-Gilles lez-Bruxelles.

48 VAN YSENDYCK, Jules. Architecte, Membre de la Commission royale des monuments, 109, rue Berckmans, à Saint-Gilles lez-Bruxelles.

49 VAN WERVEKE, A., Professeur à l'École moyenne de Gand, 48, boulevard d'Ekkergem, à Gand.

50 WEENS, Ingénieur en chef, Directeur de service des chemins de fer de l'État belge, 18, rue d'Hastedon, à Namur.

51 WEYERS, J., 35, rue Joseph II, à Bruxelles

Membres décédés en 1897.

E. J. BAILLON, à Gand.
E. F. BÉCLARD, à Bruxelles.
H. E.-D. COPE, à Philadelphie.
E. J.-B. DUBOIS, à Tournai.
E. G. FAGÉS, à Péruwelz.
E. B. LUNDGREN, à Lund.
E. O. MESNIL (DU), à Spa.
E. J.-L. ULENS, à Bruxelles.
E. P. VOGELAERE, à Bruxelles.
H. T.-E. WINCKLER, à Harlem.
A. R. A.-P. ZUNE, à Bruxelles.

RÉCAPITULATION AU 17 FÉVRIER 1898.

Membre protecteur		1
Membres honoraires		43
Membres associés étrangers		22
Membres payants : 352	effectifs	301
	associés regnicoles	51
		418

Digitized by Google

COMPOSITION DU COMITÉ PERMANENT D'ÉTUDE

DES

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION BELGES

CONSTITUÉ

sous les auspices et parmi les membres

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

(BRUXELLES)

Président :

RENARD, A., Membre de l'Académie royale des sciences, Professeur de minéralogie et de géologie à l'Université de Gand, rue de la Station, à Wetteren.

Secrétaires :

VAN BOGAERT, Cl., Ingénieur principal des Chemins de fer de l'État, chargé de la construction de la gare d'Anvers, 25, rue Dodoens, Borgerhout (Anvers).

WILLEMS, J., Capitaine-commandant du Génie, 60, rue de Robiano, à Bruxelles.

Membres :

BAYET, L., Ingénieur, Membre de la Commission géologique de Belgique, à Walcourt (province de Namur).

CUVELIER, E., Capitaine-commandant du Génie; Professeur à l'École militaire, rue de Milan, 31, à Ixelles (Bruxelles).

DE SCHRYVER, F., Ingénieur en chef-Directeur des Ponts et Chaussées, rue du Prince-Royal, 29, à Bruxelles.

Nota. — Les membres de la Société qui désirent prendre part aux réunions et aux travaux du *Comité des Matériaux* sont priés d'en informer le Bureau, qui leur fera envoyer les documents et convocations nécessaires.

Digitized by Google

DOLLO, L., Conservateur au Musée royal d'histoire naturelle, à Bruxelles.

GOBERT, A., Ingénieur-Expert, chaussée de Charleroi, 222, à Saint-Gilles (Bruxelles).

GOSSELET, J., Correspondant de l'Institut de France, ancien Président de la *Société belge de géologie,* Professeur de géologie à la Faculté des Sciences de l'Université de Lille.

HANKAR, P., Architecte, rue Defacqz, 63, à Bruxelles.

HANS, J., Ingénieur civil, rue du Commerce, 101, à Bruxelles.

JOTTRAND, G., ancien Représentant, Vice-Président de la *Société belge de géologie,* rue de la Régence, 39, à Bruxelles.

LOSSEAU, Léon, Chimiste, Directeur du Conditionnement, à Verviers.

LECHIEN, Ad., Ingénieur en chef des Chemins de fer de l'État belge, à Anvers.

LUCION, R., Docteur en sciences, Chimiste, rue Maes, 76, à Ixelles.

MONNOYER, L., Entrepreneur, avenue Louise, 252, à Bruxelles.

MOURLON, M., Membre de l'Académie royale des sciences, Directeur du *Service géologique de Belgique,* 2, rue Latérale, à Bruxelles.

RABOZÉE, H., Lieutenant du Génie, Répétiteur à l'École militaire, 18, rue du Conseil, à Ixelles.

ROELOFS, P., Industriel, rue des Tanneurs, à Anvers.

RUTOT, A., Conservateur au Musée royal d'histoire naturelle, Secrétaire de la *Société belge de géologie,* Membre du Comité de direction de la Carte géologique de Belgique; rue de la Loi, 177, à Bruxelles.

STAINIER, X., Membre de la Commission géologique, Professeur à l'Institut agronomique de l'État, à Gembloux.

VAN DEN BROECK, E., Conservateur au Musée royal d'histoire naturelle, Secrétaire général de la *Société belge de géologie,* Membre du Conseil de direction de la Carte géologique de Belgique; place de l'Industrie, 39, à Bruxelles.

Digitized by Google

ABONNÉS

AU

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

(BRUXELLES)

---

1 Administration des BATIMENTS CIVILS, à Bruxelles.

2 Service général des CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT, à Bruxelles.

3 INSTITUT CARTOGRAPHIQUE MILITAIRE, à La Cambre.

4 ÉCOLE DE GUERRE, à La Cambre.

5 SERVICE D'HYGIÈNE, à Bruxelles.

6 INSPECTION DU GÉNIE, à Bruxelles.

7 RÉGIMENT DU GÉNIE, à Anvers.

8 ÉCOLE NORMALE, de Bruxelles.

9 SOCIÉTÉ ANONYME DES PHOSPHATES, de la Malogne.

10 ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES, à Sofia.

11 THE LAW SCHOOL OF HARWARD UNIVERSITY, à Cambridge.

12 M. DELVAUX, Capitaine, Membre de la Commission géologique, à Uccle.

13 M. MALAISE, Membre de l'Académie royale de Belgique, à Gembloux.

14 M. BAUDRY, Libraire, à Liége (2 abonnements).

15 BIBLIOGRAPHIE DE BELGIQUE, à Bruxelles.

Digitized by Google

16 M. DIETRICH, Libraire, à Bruxelles.

17 M. DULAU, Libraire, à Londres (3 abonnements).

18 M. FALK, Libraire, à Bruxelles (2 abonnements).

19 M. HOSTE, Libraire, à Gand.

20 M. LAMERTIN, Libraire, à Bruxelles.

21 OFFICE DE PUBLICITÉ, à Bruxelles.

22 M. Max WEG, Libraire, à Leipzig.

(26 abonnements.)

Digitized by Google

LISTE DES OUVRAGES

NON PÉRIODIQUES, REÇUS EN DON

par la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie

PENDANT L'ANNÉE 1897

DONS D'AUTEURS

(La pagination se rapporte aux Procès-Verbaux).

Agamennone, G., pp. 135, 142.
Aguilera, J., p. 159.
Aichino, G., p. 135.
Andreae, A., pp. 70, 170.
Barrois, Ch., p. 58.
Bertrand, C., p. 58.
Blanc, H., p. 71.
Brongniart, Ch., p. 170.
Campbell, J., p. 135.
Carez, L., p. 171.
Cayeux, L., p. 135.
Chapman, F., p. 159.
Choffat, P., pp. 58, 142.
Cornet, J., p. 19.
Cuvelier, E., p. 159.
Dagincourt, p. 170.
Danielssen, D., p. 58.
Delebecque, A., pp. 171, 172.
Delifus, G., p. 142.
Draghicenu, Math., p. 58.
Dubois, Eug., p. 19.
Dupare, L., p. 172.
Félix, J., p. 58.
Fennema, pp. 60, 71.
Fornasini, C., p. 172.
Franklin Emmons, S., p. 135.
Gaudry, A., p. 159.
Guébhard, A., p. 71.
Guldberg, G., p. 58.
Hankar, Alb., p. 19.
Hennequin, E., p. 159.
Jensen, O., p 58.
Jones, T. R., pp. 58, 135, 142, 159.
Karrer, F., p. 58.
Kilian, pp. 71, 135.
Koken, E., p. 117.
Koren, J., p. 58.
Kuborn, H., p. 142.
Lambert, J., pp. 58, 59.
Lancaster, A., pp. 71, 142.
Lapparent (de), A., pp. 71, 142.
Larguier, J., p. 71.
Laszczynski, St., p. 172.
Lavalleye, Ph., p. 135.
Le Royer, A., p. 172.
Loë (baron **A. de**), p. 59.
Lorange, A.-L., p. 59.
Lotti, B., p. 59.

Digitized by Google

Margerie (de), p. 59.
Martel, E.-A., pp. 59, 142, 172.
Martin, K., p. 59.
Matthew, G., p. 135.
Mieg, p. 19.
Mortillet (de), G., pp. 59, 172.
Mourlon, M., pp. 19, 135, 172.
Oebbeke, p. 59.
Omboni, G., p. 59.
Péroche, J., p. 143.
Péron, A., p. 59.
Petermann, A., p. 20.
Pierret, p. 71.
Portis, A., pp. 60, 71.
Ramond, G., p. 71.
Reade, T.-M., pp. 143, 159.
Renevier, E., p. 71.
Risler, E., p. 143.
Rouville (de), P.-G., pp. 60, 172.
Sacco, F., p. 60.
Schoutkofski, N., p. 71.
Schroeder van der Kolk, p. 71.
Smeysters, J., p. 143.
Stapff, F., p. 60.
Suess, Ed., p. 159.
Szajnocha, W., p. 19.
Tutkowski, P., p. 60, 71.
Vallée Poussin (de la), Ch., p. 60.
Van den Broeck, E., p. 20.
Verbeek, pp. 60, 71.
Wilczek, E., p. 71.
Zenger, Ch., p. 143.
Zurcher, p. 71.

Digitized by Google

LISTE

DES

ACADÉMIES, INSTITUTS, SOCIÉTÉS SAVANTES, MUSÉES, REVUES, JOURNAUX, ETC.

EN RELATIONS D'ÉCHANGE DE PUBLICATIONS

AVEC LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

AU 31 DÉCEMBRE 1897

(L'astérisque indique les institutions dont les publications ont été reçues pendant l'année 1897 et le numéro initial est celui de l'inscription à la Bibliothèque.)

AMÉRIQUE.

1328 **Albany.** State Geologist (*Report*).

Baltimore. John Hopkins University.

1734* — *American Chemical Journal.*

1735* — *Circulars.*

1820 **Berkeley.** University of California (*Bulletin*).

2243 **Buenos-Aires.** Museo Nacional de Buenos-Aires (*Anales*).

Cambridge (Mass.). Museum of Comparative Zoology (Harvard College).

2109* — *Bulletin.*

2109*b** — *Mémoires.*

2907* **Davenport.** Academy of Natural Science (*Proceedings*).

Halifax. Nova Scotia Institut of Natural Science.

523* — *Proc. and Trans.*

Indianapolis. Department of Geology and Natural Resources.

2207* — *Annual Report.*

1407 **Jefferson-City.** Geological Survey of Missouri (*Report*).

1162*b** **Lancaster.** New York Academy of Sciences (*Annals*).

1736 **Lima.** Sociedad Geografica (*Boletin*)

2258* **Lawrence.** Kansas University (*Quarterly*).

2094 **Mexico.** Comision geologica Mexicana (*Boletin*).

2289* — Instituto geologico (*Boletin*).

Digitized by Google

2368* **Minneapolis**. Minnesota Academy of Natural Science (*Bulletin*).
2368 — Geological and Natural History Survey of Minnesota.
639* — *Annual Report*.
639*b* — *Bulletin*.
2070* **New-Haven**. American Journal of Science.
2091 — Connecticut Academy of Arts and Sciences (*Transactions*).
1162 **New-York**. Academy of Sciences (late Lyceum of Natural History) (*Trans.*).
1470 — American Museum of Natural History (*Ann. Report*).
2047* — Science.
1964* **Ottawa**. Geological Survey of Canada (*Palaeozoic fossils*).
1965 — Commission de Géologie et d'Histoire naturelle du Canada (*Rapport annuel*).
Philadelphie. Academy of Natural Sciences.
2089* — *Proceedings*.
2089*b** — *Journal*.
1522 **Quito**. Universidad Central del Ecuador (*Anales*).
1597* **Rochester**. Geological Society of America (*Bulletin*).
1575* — Rochester Academy of Sciences (*Proceedings*).
838 **San-Francisco**. California Academy of Natural Sciences (*Bulletin*).
2023* **Topeka** (**Kansas**). Kansas Academy of Science (*Transactions*).
1261 **Trenton**. Geological Survey of New Jersey (*Ann. Report*).
2257 **Washington**. American Philosophical Society (*Proceedings*).
— Geological Survey. United States of America.
1292 — *Bulletin*.
1405* — *Monographs*.
1406* — *Annual Reports*.
1523 — *Mineral Ressources*.
1164* — Smithsonian Institution (*Annual Report*).
1795 — Department of Agriculture. United States of America (*Bulletin*).
1163 — National Museum (*Report*).
1942* — The Microscope.

ASIE.

1731* **Tokio**. Imperial University Japan (*Journal*).
1122 **Yokohama**. Seismological Society of Japan (*Transactions*).

EUROPE.

ALLEMAGNE.

Berlin. Königliche-preussische Akademie der Wissenschaften.
2090* — *Mathem. und Naturw. Mittheil.*

Digitized by Google

Berlin. Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

1101* — *Zeitschrift.*

1102* — *Verhandlungen.*

2016* — Deutsche geologische Gessellschaft (*Zeitschrift*).

1103 — Afrikanische Gesellschaft in Deutschland (*Mittheil.*).

1104 — Forschungsreisende und Gelehrte aus den deutschen Schutzgebieten (*Mittheil.*).

Bonn. Naturhistorischer Verein der preussischen Rheinlande, Westphalens und des Reg.-Bezirks Osnabrück.

1408* — *Verhandlungen.*

1408*b* — *Sitzungsbericht.*

2405* **Bonn.** Niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde (*Sitzungsberichte*).

Dresde. Naturwissenschaftliche Gesellschaft Isis in Dresden.

903 — *Sitzungsberichte und Abhandlungen.*

1437 — Dresdener Museum (*Mittheil.*).

553 **Erfurt.** Königliche Akademie der Wissenschaften (*Jahrb.*).

1123 **Erlangen.** Physikalisch-medicinische Societät (*Sitzungsb.*).

Francfort s/Main. Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft.

1759* — *Abhandlungen.*

1960* — *Bericht.*

2071* **Fribourg-en-Brisgau.** Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg I. B. (*Bericht*).

Giessen. Oberhessische Gesellschaft für Natur- und Heilkunde.

1105 — *Bericht.*

2111* **Göttingen.** Königliche Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen (*Nachrichten*).

2098* **Halle.** Kaiserliche Leopoldin. Carolinische deutsche Akademie der Naturforscher (*Acta*).

1021* **Leipzig.** Geologische Specialkarte des Königreichs Sachsen.

Mecklenburg. Verein der Freunde der Naturgeschichte.

1554* — *Archiv.*

Munich. Königliche-bayerische Akademie der Wissenschaften.

2013* — *Sitzungsberichte.*

2014* — *Abhandlungen.*

Strasbourg. Geologische Specialkarte von Elsass-Lothringen.

1798* — *Abhandlungen.*

AUTRICHE-HONGRIE.

1040 **Brünn.** Naturforschend. Verein in Brünn (*Verhandlungen*).

Budapest. Königlich Ungarische geologische Anstalt.

1012 — *Jahresbericht.*

Digitized by Google

1013* **Budapest.** *Mittheilungen.*
— Ungarische geolog. Gesellschaft.
1011* — *Földtani Közlöny.*
Cracovie. Académie des sciences.
1041* — *Bulletin international.*
1559* — *Rosprawy.*
1600* — *Sprawozdanie.*
Prague. Kaiserlich-böhmische Gesellschaft der Wissenschaften.
369 — *Archiv.*
Vienne. Kaiserlich-königliche Akademie der Wissenschaften.
2021* — *Sitzungsberichte.*
2022* — *Denkschriften.*
720 — Kaiserlich-königliches naturhistorisches Hofmuseum (*Annalen*).
— Kaiserlich-königliche geol. Reichsanstalt.
2259* — *Verhandlungen.*
2259*b** — *Jahrbuch.*

BELGIQUE.

911* **Anvers.** Société royale de Géographie d'Anvers (*Bulletin*).
Bruxelles. Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique.
1181* — *Bulletin.*
1182* — *Annuaire.*
1891 — *Mémoires.*
1892* — *Mémoires couronnés.*
2209* — Annales des Mines (Minist. de l'Indust. et du Travail).
1440 — Association belge des Chimistes (*Bulletin*).
2095* — Bulletin de l'Agriculture (Ministère de l'Agriculture et des Travaux publics).
1250 — Annales des travaux publics (Ministère de l'Industrie et du Travail).
1890* — Carte géologique au 40,000e (Idem).
980* — Ciel et Terre.
2096* — La Technologie sanitaire.
691 — Bulletin du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique (*ne paraît plus*).
371 — Carte géologique au 20,000e (Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique) (*ne paraît plus*).
— Observatoire royal.
1184* — *Annales.*
1161* — *Bulletin.*
1183* — *Annuaire.*

Digitized by Google

2208 **Bruxelles.** Séminaire d'histoire et de géographie de l'Université (*Bibliographie*).
— Société belge d'Astronomie.
2265* — *Bulletin.*
2266* — *Annuaire.*
1471* — Société belge de Microscopie (*Annales*).
1797 — Société belge des Ingénieurs et des Industriels (*Bulletin*).
— Société d'Archéologie.
1619* — *Annuaire.*
1690* — *Annales.*
1042* — Société royale belge de Géographie (*Bulletin*).
2356* — Société d'Études coloniales (*Bulletin*).
— Société royale de Médecine publique.
1825* — *Tablettes mensuelles.*
1826* — *Bulletin.*
1168* — Société royale Malacologique de Belgique (*Annales*).
— Société scientifique de Bruxelles.
1166* — *Revue des questions scientifiques.*
1167 — *Annales.*
689* — Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie (*Bull.*).
519* **Huy.** Cercle des Naturalistes hutois (*Bulletin*).
719* **Liége.** Revue universelle des Mines, etc.
1371* — Société géologique de Belgique (*Annales*).
1472 **Mons.** Société des Ingénieurs sortis de l'Ecole de Mons (*Publications*).

DANEMARK.

2108* **Copenhague.** The Danish Biological Station (*Report*).

ESPAGNE.

Madrid. Comision del Mapa geologico de España.
2072* — *Boletin.*
2072*b* — *Memorias.*

FRANCE.

Abbeville. Société d'Émulation d'Abbeville.
981 — *Bulletin.*
2264 — *Mémoires.*
2056* **Angers.** Société d'études scientifiques d'Angers (*Bulletin*).
2261 — Société nationale d'Agriculture, Sciences et Arts (*Mémoires*).

Digitized by Google

2010* **Autun.** Société d'Histoire naturelle d'Autun (*Bulletin*).
2260* **Bordeaux.** Société Linnéenne (*Actes*).
Caen. Société Linnéenne de Normandie.
1793 — *Bulletin.*
1793 — *Mémoires.*
2057* — Académie nationale des Sciences, Arts et Belles-Lettres (*Mémoires*).
1723 — Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences (*Bulletin*).
2262* **Carcassonne.** Société d'études scientifiques de l'Aude (*Bulletin*).
2107 **Chalon-s/Saône.** Société des Sciences naturelles de Saône-et-Loire (*Bulletin*).
2046 **Charleville.** Société d'Histoire naturelles des Ardennes (*Bulletin*).
1326* **Le Havre.** Société géologique de Normandie (*Bulletin*).
697* **Lille.** Société géologique du Nord (*Annales*).
697*b* — *Mémoires.*
1832* **Louviers.** Société normande d'Études préhistoriques (*Bulletin*).
2263* **Lyon.** Société d'Agriculture, d'Histoire naturelle. etc. (*Annales.*)
1941 **Nancy.** Club alpin français. Section Vosgienne (*Bulletin*).
1749* **Nantes.** Société des Sciences naturelles de l'Ouest de la France (*Bulletin*).
Paris. Académie des Sciences.
2017 — *Mém. sav. étrang.*
2018 — *Mémoires.*
2019 — *Mém. Pass. Vénus.*
2020* — *Comptes rendus des séances.*
2009* — Annales des Mines.
1273* — Archives générales d'Hydrologie.
534* — Feuille des Jeunes Naturalistes.
1967* — Muséum d'Histoire naturelle (*Bulletin*).
1818* — Service de la Carte géologique détaillée de la France (*Bulletin*).
— Société de Géographie.
2043* — *Comptes rendus des séances.*
2044* — *Bulletin.*
1197* — Société d'Hydrologie médicale (*Annales*).
2045* **Paris.** Société française de Minéralogie (*Bulletin*).
1290* — Société géologique de France (*Bulletin*).
— Société de Spéléologie.
2148* — *Bulletin* (Spelunca).
2191* — *Mémoires.*
Saint-Étienne. Société de l'Industrie minérale.
2041* — *Comptes rendus des séances.*
2042* — *Bulletin.*
2058 **Toulouse.** Académie des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres (*Mémoires*).

Digitized by Google

GRANDE-BRETAGNE

1968* **London.** Geologist's Association (*Proceedings*).
1010* — Geological Society of London (*Quart. Journ.*).
1450 — Geological Survey of the United Kingdom (*Memoirs*).
2048* — Royal Society of London (*Proceedings*).
2040* **Plymouth.** Marine Biological Association of the United Kingdom (*Journal*).

ITALIE.

2026 **Catane.** Accademia Gioenia di Scienze Naturali (*Atti*).
2289* — Bollettino.
1989* **Milan.** Societa italiana di Scienze naturali e Museo civico di storia naturale in Milano (*Atti*).
1792 **Modène.** Società dei Naturalisti in Modena (*Atti*).
Naples. Società reale di Napoli (Reale Accademia di Scienze fisiche e matematiche).
2012 — *Atti.*
2011* — *Rendiconto.*
Pise. Societa toscana di Scienze naturali.
2054* — *Procès-verbaux.*
2055* — *Mémoires.*
2195* **Porto-Maurizio.** Associazione scientifica ligure (*Bollettino*).
343 **Rome.** Carte géologique de la Sicile.
319* — Office météorologique (*Bulletin*)
293* — Reale Comitato Geologico d'Italia (*Bollettino*).
837* — Società africana d'Italia (*Bollettino*).
2254* — Società geologica italiana (*Bollettino*).
1797* — Società sismologica d'Italia (*Bollettino*).
2255* **Turin.** Accademia delle Scienza do Torino (*Atti*).

NÉERLANDE.

Amsterdam. Koninklijke Akademie van Wetenschappen.
2037* — *Verhandelingen.*
2038* — *Verslagen.*
2039* — *Jaarboek.*
224 **Harlem.** Musée Teyler (*Catalogue*).
1724 — Nederlandsche Dierkundige Vereeniging (*Tydschrift*).
2024* **Leide.** Geolog. Leide Museum (*Sammlung*).

Digitized by Google

NORWÈGE.

812 **Tromsœ.** Tromsœ Museum (*Aarschefter*).

PÉNINSULE BALKANIQUE.

1966 **Belgrade.** Annales géologiques de la Péninsule balkanique.

PORTUGAL.

530 **Lisbonne.** Commissào dos Trabalhos Geologicos de Portugal.
1160 **Porto.** Societade Carlo Ribeiro (Revista de Sciencias naturaes e sociaes).

ROUMANIE.

2372* **Bucharest.** Bureau géologique. (*Harta geologica generala*).

RUSSIE et FINLANDE.

1596 **Helsingsfors.** Société de Géographie de Finlande (*Bulletin*).
864* **Kiew.** Société des Naturalistes (*Mémoires*).
Saint-Pétersbourg. Académie impériale des Sciences.
1889 — *Bulletin.*
1889b* — *Mémoires.*
— Comité géologique de Russie.
840* — *Bulletin.*
889* — *Mémoires.*
843* — Matériaux pour servir à la géologie de la Russie.
842* — Russ.-Kaiserl. Mineralog. Gesellschaft (*Verhandl.*).
2192* — Section géologique du cabinet de S. M. l'Empereur (*Travaux*).
990* — Société des Naturalistes de Saint-Pétersbourg (*Comptes rendus*).
2256* **Moscou.** Société Impériale des Naturalistes (*Bulletin*).

SUÈDE.

1970* **Lund.** Universitas Lundensis (*Acta*).
Stockholm. Konglig. svenska vetenskap Akademie.
1223* — *Bihang.*
1224 — *Ofversigt.*
2092* **Upsal.** University of Upsala Geol. Inst. (*Bulletin*).

Digitized by Google

SUISSE.

688 **Lausanne.** Société géologique suisse (*Elogoe geol. Helv.*)
2269* — Société vaudoise des Sciences naturelles (*Bulletin*).
1100 — Musée d'Histoire naturelle (*Comptes rendus*).
2093* **Zurich.** Naturforsch. Gesellschaft in Zurich (*Vierteljahrsschrift*).

TURQUIE.

1991* **Constantinople.** Observatoire impérial (*Bulletin*).

OCÉANIE.

NOUVELLE-GALLES DU SUD.

Sydney. Australian Museum.
1601 — *Reports.*
1664* — *Records.*
982* — Department of Mines and Agriculture (*Ann. Report*).
— Geological Survey of New South Wales.
642* — *Records.*
983 — *Mémoires.*
983*b** — *Mineral resources.*
2268* — Australian Mining Standard.

VICTORIA.

235* **Melbourne.** Secretary of Mines (*Ann. Report*).
1438 — Zoology of Victoria (*Prodromus*).

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES FOSSILES NOUVEAUX

mentionnés, décrits ou figurés dans le présent volume.

NOMS DES ESPÈCES NOUVELLES.	AUTEURS.	AGE DU GISEMENT.	MENTION.	DESCRIPTION.	FIGURES.
Cidaris montainvillensis.	Lambert, 1897	Calcaire pisolithique de Meudon, Montainville et Vigny; Calcaire grossier de Mons; Craie supérieure de Faxoë	Mém. p. 143	Mém. p. 143	Mém. pl. II, fig. 3, 4 et 5
Macrodiadema Ciplyensis	Lambert, 1897	Craie sénonienne de Ciply	Mém. p. 146	Mém. p. 147	Mém. pl. II, fig. 10
Salenia Belgica	Lambert, 1897	Poudingue de la Malogne	Mém. p. 150	Mém. p. 150	Mém. pl. III, fig. 1, 2, 3, 4, 5 et 6
Gauthieria Broecki	Lambert, 1897	Poudingue de la Malogne	Mém. p. 152	Mém. p. 152	Mém. pl. IV, fig. 1, 2, 3, 4 et 5
Rachiosoma Grossouvrei.	Lambert, 1897	Poudingue de la Malogne	Mém. p. 154	Mém. p. 154	Mém. pl. III, fig. 11, 12, 13, 14 et 15
Cyphosoma inops.	Lambert, 1897	Craie phosphatée de Ciply	Mém. p. 155	Mém. p. 155	Mém. pl. IV, fig. 6
Cyphosoma Rutoti	Lambert, 1897	Ciply; Sénonien, craie phosphatée	Mém p. 155	Mém. p. 155	Mém. pl. IV, fig. 7 et 8
Caratomus Rutoti.	Lambert, 1897	Ciply; poudingue de la Malogne	Mém. p. 157	Mém. p. 157	Mém. pl. IV, fig. 15, 16, 17, 18 et 19
Echinocorys Belgicus	Lambert, 1897	Craie phosphatée de Ciply	Mém. p. 183	Mém. p. 183	Mém. pl. IV, fig. 9 et 10

Digitized by Google

INDEX ALPHABÉTIQUE

DES LOCALITÉS BELGES

au sujet desquelles le présent volume fournit

DES

RENSEIGNEMENTS GÉOLOGIQUES, PALÉONTOLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES

SIGNES CONVENTIONNELS :

1 = Terrain primaire; **2** = T. secondaire; **3** = T. tertiaire; **4** = T. quaternaire et moderne; **5** = Phénomènes géologiques; **6** = Hydrologie; p. a. = Puits artésien; s. m. = Source minérale; * = Renseignements paléontologiques, listes; Fig. = Coupe figurée (1).

NOMS DES LOCALITÉS.	PAGINATION ET NATURE DES RENSEIGNEMENTS FOURNIS PAR LE TEXTE.
A	
Adegem	*Mém.* 30. **4**.
Aerseelé	*Mém.* 27. **4**.
Alost	*Mém.* 36 **4**.
Anvaing	*Mém.* 517. **1**. **6**.
Anvers	*Mém.* 39. **3**. **4**.
Arquennes	*Pr.-Verb.* 73-76. **1***.
B	
Balgerhoeke	*Mém.* 30. **4**.
Bassevelde	*Mém.* 33. **4**.
Baudour	*Pr.-Verb.* 149. **2***. **3**. **4**.
Beersel	*Mém.* 43. **4**.

(1) Les chiffres précédés des mentions *Pr.-Verb.* et *Mém.*, qui accompagnent les noms des localités, indiquent respectivement la pagination des Procès-Verbaux et celle des Mémoires. Les chiffres gras et les signes divers qui suivent correspondent à une classification des matières ainsi établie : **1** *Terrain éruptif* et *Terrain primaire;* **2** *Terrain secondaire;* **3** *Terrain tertiaire;* **4** *Terrain quaternaire et moderne.* Le chiffre gras **5** indique que le texte fournit des données relatives aux *phénomènes géologiques* et le chiffre **6** signifie qu'il donne des renseignements *hydrologiques.* Lorsque les renseignements fournis proviennent d'une coupe de *puits artésien.* ces derniers chiffres sont suivis du signe *p. a.* Les localités pour lesquelles sont citées des *sources minérales* sont indiquées par le signe *s. m.* L'astérisque * accompagnant un chiffre gras indique la présence de liste de fossiles ou de renseignements paléontologiques quelconques. *Fig.* signifie : coupe figurée.

Digitized by Google

SIGNES CONVENTIONNELS :

1 = Terrain primaire; 2 = T. secondaire; 3 = T. tertiaire; 4 = T. quaternaire et moderne; 5 = Phénomènes géologiques; 6 = Hydrologie; p. a. = Puits artésien; s. m. = Source minérale; * = Renseignements paléontologiques, listes; Fig. = Coupe figurée.

NOMS DES LOCALITÉS.	PAGINATION ET NATURE DES RENSEIGNEMENTS FOURNIS PAR LE TEXTE.
N	
Nieuwkerken	*Mém.* 38. 3. 4. p a.
O	
Oedelem	*Mém.* 29. 4.
Oppuers	*Mém* 38. 4.
Ostende	*Pr.-Verb.* 160. 4. — *Mém.* 13. 1. 2. 3. 4. p. a.
Oudenbourg	*Mém.* 26. 3 4.
Overmeire	*Mém.* 35. 4.
P	
Péruwelz	*Mém.* 517. 1. 6.
Petit-Crocodile	*Mém.* 12. 3. 4.
Q	
Quatrecht	*Mém.* 35. 3. 4.
R	
Recogne	*Pr.-Verb.* 150-155. 1.
Remouchamps	*Mém.* 443-455. 6. fig. — 445-451. 1. fig.
Rupelmonde	*Mém.* 60. 6.
S	
Saint-Nicolas	*Mém.* 38. 4.
Seyseele	*Mém.* 30. 4.
Sinay	*Mém.* 38. 4.
Snelleghem	*Mém.* 26. 3. 4.
Somergem	*Mém* 29. 4.
Spiennes	*Mém.* 172-173. 2*.
Staden	*Mém.* 25. 4.
Stekene	*Mém.* 33. 3.
T	
Termonde	*Mém.* 38. 4. — 131. 6.
Tournai	*Mém.* 410-413. 1. 2. 3. 4. 6. p. a. — 512-518. 1. 6. p. a. fig. — 514. 517. 4. — 515. 2. 3.

Digitized by Google

SIGNES CONVENTIONNELS :

1 = Terrain primaire; 2 = T. secondaire; 3 = T. tertiaire; 4 = T. quaternaire et moderne; 5 = Phénomènes géologiques; 6 = Hydrologie; p. a. = Puits artésien; s. m. = Source minérale; * = Renseignements paléontologiques, listes; Fig. = Coupe figurée.

NOMS DES LOCALITÉS.	PAGINATION ET NATURE DES RENSEIGNEMENTS FOURNIS PAR LE TEXTE.
U	
Ursel	*Mém.* 29. 30. 4.
V	
Vilvorde	*Mém.* 52. 6.
Vynckt	*Mém.* 27. 4.
W	
Waerschoot	*Mém.* 30. 33. 4.
Warneton	*Mém.* 21-22. 3. 4. p. a.
Watervliet	*Mém.* 33. 4.
West-Roosebeek	*Mém.* 25. 4.
Wetteren	*Mém.* 35. 3. 4. p. a.
Willebroeck	*Mém.* 39. 4.
Wilsele	*Mém.* 42. 4. p. a.
Z	
Zulte	*Mém.* 31-32 3. 4.
Zwartenberg	*Mém.* 33. 4.

Digitized by Google

TABLE DES PLANCHES

PLANCHE I.

A. Rutot. — Carte montrant l'extension maximum de la mer flandrienne (bleu pâle) ainsi que les parties de cette mer dont les profondeurs dépassent 10 mètres (bleu foncé).

Le réseau des vallées des cours d'eau pendant les époques hesbayenne et campinienne se trouve ainsi représenté.

Les chiffres indiqués sur la carte montrent l'épaisseur des dépôts flandriens aux points où ils sont inscrits. — Échelle de $^{1}/_{400\,000}$.

PLANCHE II.

J. Lambert. — Échinides de la craie de Ciply.

PLANCHE III.

J. Lambert. — Échinides de la craie de Ciply.

PLANCHE IV.

J. Lambert. — Échinides de la craie de Ciply.

PLANCHE V.

J. Lambert. — Échinides de la craie de Ciply.

PLANCHE VI.

Otto Lang. — Les effondrements de la ville d'Eisleben.

PLANCHE VII.

Otto Lang. — Esquisse géologique des environs d'Eisleben.

PLANCHES VIII-IX.

Jules Cornet. — Coupe de Matadi à Léopoldville, par Kongo-Dalemba, Banza-Manteka, Lukungu et Kendolo.

Coupe de Livituku à Kinchassa par Kisantu et Zampa.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

DES

COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

DISPOSÉES SYSTÉMATIQUEMENT

ET PAR ORDRE DE CHRONOLOGIE GÉOLOGIQUE

Géologie générale.

	Pr.-Verb. Pages.	Mém. Pages.
E. Renevier. Chronographe géologique. — Reproduction du texte explicatif de la seconde édition du tableau des terrains sédimentaires formés pendant les époques de la phase organique du Globe terrestre, mis au point et entièrement retravaillé sur un plan nouveau, avec application de la gamme des *couleurs conventionnelles* admises par les congrès géologiques internationaux; avec le tableau résumé du chronographe géologique. (*Traductions et reproductions*)		3
J. Le Conte. Les mouvements de l'écorce terrestre. *(Ibid.)*		61

Terrains éruptifs. — Lithologie.

L. Dollo. Le marbre griotte. (*Résumé sommaire.*)	32	
Cl. Van Ronkert. Note sur la résistance des pierres naturelles aux intempéries :		
I. — Résumé des travaux de la 3e Commission du Congrès spécial de Zurich. (Pierres naturelles.)	33	
II. — Résumé des travaux de la 4e Commission du Congrès de Zurich (Ardoises)	43	
A. Renard. Recherches sur le mode de formation des météorites pierreuses (chondrites)	61	
C. Klement. Les théories relatives à l'origine du pétrole.	76	
A. Rutot. Compte rendu (première partie) du mémoire de *M. Cayeux :* Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires. . .	128	
A. Renard. Sur la présence de la zoïsite et de la diallage dans les roches métamorphiques de l'Ardenne	136	
A. Rutot. Roches granitiques de l'Ardenne (granite de la Hell)	150	
C. Klement. Sur la diallage ouralitisée de l'Ardenne	150	
V. Wichmann. Sur l'ouralite de l'Ardenne	150	

Digitized by Google

	Pr.-Verb. Pages.	Mém. Pages.
C. Klement. Exposé du mode de formation du minerai de fer des alluvions	165	
C. Klement. Exposé de quelques vues générales sur la formation des gîtes métallifères	179	
Dr C.-E. Bertrand. Conférences sur les charbons de terre. — Deuxième conférence		284

Géologie et recherches régionales.

A. Rutot. Les origines du Quaternaire de la Belgique		1
J. Cornet. Observations sur la géologie du Congo occidental (communication préliminaire)	21	
J. Cornet. Étude sur la géologie du Congo occidental entre la côte et le confluent du Ruki		311
J. Lorié. Contribution à la géologie des Pays-Bas. — Partie VIII : Les incrustations calcaires de la mare de Rockange, près Brielle, et de quelques autres mares. (*Résumé.*)	31	
H. de Dorlodot. Résultats de quelques excursions faites dans le calcaire carbonifère des environs d'Arquennes et des Écaussines, en compagnie de M. Malaise	73	
H. Arctowski. Quelques mots relatifs à l'étude du relief de l'Ardenne et des directions que suivent les rivières dans cette contrée	118	
A. Rutot. Roches granitiques de l'Ardenne (granite de la Hell)	150	
C. Klement. Sur la diallage ouralitisée de l'Ardenne	150	
A. Wichmann. Sur l'ouralite de l'Ardenne	155	
A. Rutot. Nouvelles observations sur le Flandrien	160	
G. Jottrand. Présentation de végétaux fossiles récemment recueillis au Spitzberg	184	

Études paléontologiques, évolution, etc.

L. Dollo. Origine paléontologique du chien. (*Texte de la conférence non publié.*)	31	
L. Dollo. Quelques mots sur les Oursins. (*Texte de la conférence non publié.*)	128	
L. Dollo. Les nageoires des Mosasauriens. (*Texte de la conférence non publié.*)	140	

Géologie des terrains primaires.

H. de Dorlodot. Résultats de quelques excursions faites dans le calcaire carbonifère des environs d'Arquennes et des Écaussines, en compagnie de M. Malaise	73	
A. Renard. Sur la présence de la zoïsite et de la diallage dans les roches métamorphiques de l'Ardenne	136	

Digitized by Google

Pr.-Verb. Pages. Mém. Pages.

Paléontologie des terrains primaires.

Dr C.-E. Bertrand. Conférences sur les charbons de terre. — Deuxième conférence 284

Géologie des terrains secondaires.

A. Rutot. Compte rendu (première partie) du mémoire de M. *Cayeux :* Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires . . 128

Paléontologie des terrains secondaires.

J. Lambert. Note sur les Échinides de la craie de Ciply 127 141

L. Dollo. Les nageoires des Mosasauriens. (*Texte de la conférence non publié.*) 140

Paléontologie des terrains tertiaires.

G. Jottrand. Présentation de végétaux fossiles récemment recueillis au Spitzberg. 184

Géologie des terrains quaternaire et moderne.

A. Rutot. Les origines du Quaternaire de la Belgique. 1

A. Rutot. Les âges hesbayen, campinien et moséen. (*Résumé.*) . . . 65

A. Rutot. Sur la nouvelle échelle stratigraphique des terrains quaternaires en Belgique 72

J.-C. Van Mierlo. Note sur les marées à la fin de l'époque quaternaire sur les côtes de Belgique. 144 273

A. Rutot. Nouvelles observations sur le Flandrien 160

C. Klement. Exposé du mode de formation du minerai de fer des alluvions. 165

Phénomènes géologiques

Otto Lang. De la formation des cavernes à propos des effondrements d'Eisleben. — Note relative à la dissertation de M. A. Flamache sur la formation des grottes et des vallées souterraines, publiée dans les *Mémoires de la Société belge de Géologie* 191

Otto Lang. Contribution à l'étude de la formation des cavernes. (*Résumé.*). 4

X. Stainier. Du mode de formation des cavernes. Examen de la théorie de M. Flamache. (*Résumé.*). . . . . .

Digitized by Google

	Pr.-Verb. Pages.	Mém. Pages.
X. Stainier. De la formation des cavernes		**251**
J. Lorié. Contribution à la géologie des Pays-Bas. — Partie VIII : Les incrustations calcaires de la mare de Rockange, près Brielle, et de quelques autres mares. (*Résumé.*)	31	
L. Dollo. Le marbre griotte. (*Résumé sommaire.*)	32	
A. Renard. Recherches sur le mode de formation de météorites pierreuses (chondrites)	61	
C. Klément. Les théories relatives à l'origine du pétrole	76	
A. Flamache. Quelques mots à propos de la critique de M. Van den Broeck concernant mon travail sur la formation des cavernes	77	
E. Van den Broeck. Réponse à M. Flamache	90	
J.-C. Van Wierle. Note sur les marées à la fin de l'époque quaternaire sur les côtes de Belgique	144	**273**
A. Rutot. Communication sur les phosphates de Baudour	148	
C. Klement. Exposé du mode de formation du minerai de fer des alluvions	165	
A. Renard. De l'influence qu'exerce la température sur le pouvoir dissolvant de l'eau, d'après les recherches de G. Spezia	174	
C. Klement. Exposé de quelques vues générales sur la formation des gîtes métallifères	179	
Dr C.-E. Bertrand. Conférences sur les charbons de terre. — Deuxième conférence		**284**

Hydrologie.

Th. Verstraeten. Hydrologie des roches. — Nécessité de préciser les situations et les termes	114	
E. Van den Broeck. Réponse à M. Verstraeten (*Résumé et annonce d'une réponse détaillée*)	114	
E. Van den Broeck. Le dossier hydrologique du régime aquifère en terrains calcaires et le rôle de la géologie dans les recherches et études des travaux d'eaux alimentaires		**378**

Applications diverses géologiques.

Exposition spéciale de matériaux de construction d'origine belge organisée par le Comité d'étude des matériaux de construction de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie (Bruxelles)	8	
Projet d'organisation d'un musée permanent des matériaux de construction	11	
Composition du Comité permanent d'étude des matériaux de construction belges	13	

Digitized by Google

	Pr.-Verb. Pages.	Mém. Pages.
Cl. Van Ronkart. Note sur la résistance des pierres naturelles aux intempéries :		
I. — Résumé des travaux de la 3e Commission du Congrès de Zurich (pierres naturelles)	33	
II. — Résumé des travaux de la 4e Commission du Congrès de Zurich (ardoises)	43	
Rahozée. Appel aux géologues spécialistes en vue du classement stratigraphique des carrières belges et des matériaux qui en proviennent	55	
A. Gobert. (Dans annexe à la séance du 30 mars 1897.) Nouveau procédé pour la congélation des terrains aquifères et des sables boulants	65	
Pierret. Les matériaux employés dans la construction des chaussées, des routes provinciales et communales dans le Brabant (*Analyse*)	129	
L. Lesseau. Recherches sur la gélivité des matériaux de construction	185	

Varia.

A. Renard. La Géographie dans l'enseignement supérieur en Belgique	137	121
Composition du Comité permanent d'étude des matériaux de construction belges	13	
Projet d'exposition collective de géologie à organiser au sein de la Classe 83 de l'Exposition internationale de Bruxelles	14	
E. Van den Broeck. La géologie et la Société belge de Géologie à l'Exposition de Bruxelles	145	
A. Rutot. Communication sur les phosphates de Baudour	148	
M. Mourlon. Bibliographia geologica (apparition du tome I)	173	
A. Rutot. La géologie et la paléontologie à l'Exposition internationale de Bruxelles, en 1897	205	
Liste générale des exposants de la Classe 83 (géologie) dans la Section des Sciences de l'Exposition internationale de Bruxelles	237	

Bibliographie.

A. Rutot. Compte rendu (première partie) du mémoire de M. *Cayeux* : Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires	128	
Pierret. Les matériaux employés dans la construction des chaussées, des routes provinciales et communales dans le Brabant	12	

Digitized by Google

TABLE GÉNÉRALE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME XI (1897)

DU

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES.

Pages.

Composition du Bureau et du Conseil de la Société pour l'exercice 1897 2

Séance d'applications géologiques du 12 janvier 1897.

Otto Lang. Contribution à l'étude de la formation des cavernes (*Résumé.*) . . 4

X. Stainier. Du mode de formation des cavernes. Examen de la théorie de M. Flamache. (*Résumé.*) 6

Exposition spéciale de matériaux de construction d'origine belge organisée par le Comité d'étude des matériaux de construction de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie. (Bruxelles) 8

Projet d'organisation d'un musée permanent des matériaux de construction . . 11

Composition du Comité permanent d'étude des matériaux de construction belges. 13

Séance mensuelle du 26 janvier 1897.

Projet d'exposition collective de Géologie à organiser au sein de la Classe 83 de l'Exposition internationale de Bruxelles. 14

J. Cornet. Observations sur la Géologie du Congo occidental. (*Communication préliminaire.*) 21

J. Lorié. Contribution à la Géologie des Pays-Bas. — Part. VIII : Les incrustations calcaires de la mare de Rockange près Brielle, et de quelques autres mares. (*Résumé.*) 31

L. Dollo. Origine paléontologique du chien (*texte de la conférence non publié*) . 31

— Le marbre griotte. (*Résumé sommaire.*) 32

Digitized by Google

Séance d'applications géologiques du 9 mars 1897.

Pages.

Cl. Van Bogaert. Note sur la résistance des pierres naturelles aux intempéries :

I. — Résumé des travaux de la 3e Commission du Congrès spécial de Zurich. (Pierres naturelles.) 33

II. — Résumé des travaux de la 4e Commission du Congrès de Zurich. (Ardoises.) 43

Rabozée. Appel aux géologues spécialistes en vue du classement stratigraphique des carrières belges et des matériaux qui en proviennent. 55

Séance mensuelle du 30 mars 1897.

A.-F. Renard. Recherches sur le mode de formation des météorites pierreuses (chondrites) 61

A. Rutot. Les âges hesbayen, campinien et moséen. (*Résumé.*). 65

A. Gobert. (Dans *Annexe* à la Séance.) Nouveau procédé pour la congélation des terrains aquifères et des sables boulants. 65

Séance mensuelle du 27 avril 1897.

A. Rutot. Sur la nouvelle échelle stratigraphique des terrains quaternaires en Belgique. 72

H. de Dorlodot. Résultats de quelques excursions faites dans le calcaire carbonifère des environs d'Arquennes et des Écaussines, en compagnie de M. Malaise. 73

C. Klement. Les théories relatives à l'origine du pétrole. 76

Séance spéciale d'hydrologie du 11 mai 1897.

A. Flamache. Quelques mots à propos de la critique de M. Van den Broeck concernant mon travail sur la formation des cavernes 87

E. Van den Broeck. Réponse à M. Flamache 90

Th. Verstraeten. Hydrologie des roches — Nécessité de préciser les situations et les termes. 93

E. Van den Broeck. Réponse à M. Verstraeten. (*Résumé et annonce d'une réponse détaillée.*) 114

Séance mensuelle du 25 mai 1897.

H. Arctowski. Quelques mots relatifs à l'étude du relief de l'Ardenne et des directions que suivent les rivières dans cette contrée. 118

J. Lambert. Échinides de la craie de Ciply. (*Résumé.*). 127

Digitized by Google

Pages.

L. Dollo. Quelques mots sur les Oursins. (*Texte de la conférence non publié.*). . 128

A. Rutot. Compte rendu (première partie) du mémoire de M. *Cayeux :* Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires. 128

Bulletin bibliographique.

Pierrot. Les matériaux employés dans la construction des chaussées, des routes provinciales et communales dans le Brabant 129

Séance mensuelle du 27 juillet 1897.

A. Renard Sur la présence de la zoïsite et de la diallage dans les roches métamorphiques de l'Ardenne 136

A. Renard. La géographie dans l'enseignement supérieur en Belgique. (*Résumé*). 137

L. Dollo. Les nageoires des Mosasauriens. (*Texte de la conférence non publié.*) . 140

Séance mensuelle du 26 octobre 1897.

Van Mierlo. Note sur les marées de l'époque quaternaire sur les côtes de Belgique. (*Résumé.*) 144

E. Van den Broeck. La Géologie et la Société belge de Géologie à l'Exposition de Bruxelles. 145

A. Rutot. Communication sur les phosphates de Baudour 148

— Roches granitiques de l'Ardenne (granite de la Hell) 150

C. Klement. Sur la diallage ouralitisée de l'Ardenne 150

A. Wichmann. Sur l'ouralite de l'Ardenne. 155

Séance mensuelle du 30 novembre 1897.

A. Rutot. Nouvelles observations sur le Flandrien 160

C. Klement. Exposé du mode de formation du minerai de fer des alluvions . . 165

Séance annuelle du 28 décembre 1897.

M. Mourlon. Bibliographia geologica (Apparition du tome I) 173

A. Renard. De l'influence qu'exerce la température sur le pouvoir dissolvant de l'eau, d'après les recherches de G. Spezia 174

C. Klement. Exposé de quelques vues générales sur la formation de gites métallifères 179

G. Jottrand. Présentation de végétaux fossiles récemment recueillis au Spitzberg 184

L. Losseau. Recherches sur la gélivité des matériaux de construction. 185

Digitized by Google

Assemblée générale annuelle de clôture de l'exercice 1897.

Pages.

M. le Président. Rapport annuel pour 1897 189
Fixation des jours et heures des séances mensuelles et des séances d'application. 196
Fixation du chiffre de la cotisation et des prix de vente et d'abonnement des publications 196
Approbation des comptes de l'année 1897 et rapport du Trésorier 971
Projet de budget pour 1898 199
Session extraordinaire de 1898 et programme des excursions diverses 199
Élections 201
Projet de la Fédération des sociétés scientifiques de Belgique. 202
Examen des modifications proposées aux Statuts et adoption d'une rédaction définitive de ceux-ci 202

ANNEXE AUX PROCÈS-VERBAUX.

A. Rutot. La Géologie et la Paléontologie à l'Exposition internationale de Bruxelles, en 1897 205
Liste générale des exposants de la Classe 83 (Géologie) dans la Section des sciences de l'Exposition internationale de Bruxelles, en 1897 237

MÉMOIRES.

A. Rutot. Les origines du Quaternaire de la Belgique 1
J. Lambert. Note sur les Échinides de la craie de Ciply. 141
Otto Lang. De la formation des cavernes à propos des effondrements d'Eisleben. — Note relative à la dissertation de M. A. Flamache sur la formation des grottes et des vallées souterraines, publiée dans les *Mémoires de la Société belge de Géologie* 191
A.-F. Renard. La Géographie dans l'enseignement supérieur en Belgique. . . 221
X. Stainier. De la formation des cavernes. 251
J.-C. Van Mierlo. Note sur les marées à la fin de l'époque quaternaire sur les côtes de Belgique 273
Dr C.-F. Bertrand. Conférences sur les charbons de terre. — Deuxième conférence. 284
J. Cornet. Étude sur la géologie du Congo occidental entre la côte et le confluent du Ruki 311
E. Van den Broeck. Le dossier hydrologique du régime aquifère en terrains calcaires et le rôle de la Géologie dans les recherches et études des travaux d'eaux alimentaires. 378
Avis relatif à la publication du Compte rendu de la session annuelle extraordinaire en Ardenne. 555

Digitized by Google

TRADUCTIONS ET REPRODUCTIONS.

Pages.

E. Renevier. Chronographie géologique. — Reproduction du texte explicatif de la seconde édition du tableau des terrains sédimentaires formés pendant les époques de la phase organique du Globe terrestre, mis au point et entièrement retravaillé sur un plan nouveau, avec application de la gamme des *couleurs conventionnelles* admises par les Congrès géologiques internationaux, avec le tableau résumé du Chronographe géologique . . . 3

J. Le Comte. Les mouvements de l'écorce terrestre. 61

TABLES, INDEX ET LISTES.

Liste générale des Membres de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie. I

Bibliothèque de la Société :

1° Liste des ouvrages non périodiques reçus en don par la Société pendant l'année 1897 XXI

2° Liste générale des échanges périodiques faits par la Société, comprenant la liste des ouvrages périodiques reçus en échange par la Société pendant l'année 1897 XXIII

Désignation des fossiles nouveaux décrits ou figurés dans le présent volume. XXXII

Index alphabétique des localités belges au sujet desquelles le présent volume fournit des renseignements géologiques, paléontologiques et hydrologiques. XXXIII

Table des planches XXXVIII

Table des matières des **communications scientifiques** disposées par ordre de **chronologie géologique** XXXIX

Table générale des matières contenues dans le Tome XI (1897) du Bulletin de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie. XLIV

ERRATA

PROCÈS-VERBAUX.

Page 36, au 7°, ligne 2, *au lieu de :* contraction, *lisez :* extraction.

Page 37, ligne 18, *au lieu de :* la plus part des grès et calcaires, *lisez :* la plupart des grès et calcaires.

Page 37, note du Profr Lunge, B) *au lieu de :* solution mécanique de, *lisez :* solution mécanique des

Page 38, ligne 5, *au lieu de :* d'anhydrides, *lisez :* des anhydrides.

Page 45, dernière ligne, *ajoutez :* il résulte que, *avant les mots :* la présence de.

Page 54, ligne 14, *au lieu de :* elle y est proportionnelle, *lisez :* elle lui est proportionnelle.

Page 54, ligne 34, *au lieu de :* M. Hein, *lisez :* M. Heim.

Page 197, au titre ; Approbation des comptes, etc., *lisez :* 1897, *au lieu* de 1896

Page 236, dernière ligne, *lisez :* Voir le catalogue spécial.

Digitized by Google

EXPLICATION DES PLANCHES

(Sauf indication contraire, les figures sont de grandeur naturelle.)

PLANCHE II.

Figure 1. **Micraster ciplyensis** Schlüter. Moule intérieur siliceux de la craie supérieure de Ciply (coll. Peron), vu en dessus.

— 2. Le même, vu de profil.

— 3. Petit radiole, grossi au double, du **Cidaris montainvillensis** Lambert, du calcaire pisolithique de Montainville (collection Lambert).

— 4. Fragment d'un radiole semblable, de la craie phosphatée de Ciply (du Musée de Bruxelles), même grossissement.

— 5. Radiole de la même espèce, à granules spiniformes plus espacés, de la craie de Ciply (coll. Peron), même grossissement.

— 6. **Cidaris Tombeckl** Desor. Segment du calcaire grossier de Mons (Musée de Bruxelles).

— 7. Une plaque interambulacraire du même, grossie, avec portion de l'ambulacre adjacent.

— 8. **Cidaris spec.** Fragment de radiole de la craie de Ciply, grossi au double (coll. Peron).

— 9. **Cidaris serrata** Desor. Fragment de radiole de la craie phosphatée de Ciply, grossi au double (Musée de Bruxelles).

— 10. **Macrodiadema ciplyensis** Lambert. Radiole, grossi au double, de la craie phosphatée de Ciply (coll. Peron).

— 11. **Cardiaster Heberti** Cotteau. Moule en silex de la craie de Louviers (Eure), type du **Holaster cordiformis** Sorignet (collection Lambert), vu de profil.

— 12. Le même, vu en dessus.

— 13. **Salenidia Bonissenti** Cotteau, du poudingue de la Malogne, vu en dessus.

— 14. Le même, vu de profil.

— 15. Le même, vu en dessous.

— 16. Ambulacre grossi du même.

Digitized by Google

PLANCHE III.

Figure 1. **Salenia belgica** Lambert, du poudingue de la Malogne; vu en dessus.

— 2. Le même, vu en dessous.

— 3. Le même, vu de profil.

— 4. Ambulacre grossi du même.

— 5. Jeune individu de la même espèce et du même gisement.

— 6. Le même, grossi.

— 7. **Echinocorys Armandi** Seunes, de la craie phosphatée de Ciply, vu de profil (Musée de Bruxelles).

— 8. Le même, vu en dessus.

— 9. **Cardiaster granulosus** Goldfuss (**s. Spatangus**) de la craie phosphatée de Ciply; vu en dessus (Musée de Bruxelles).

— 10. Ambulacre antérieur paire II, du même, grossi.

— 11. **Rachiosoma Grossouvrei** Lambert, du poudingue de la Malogne; vu en dessus (coll. de Grossouvre).

— 12. Le même, vu en dessous.

— 13. Le même, vu de profil.

— 14. Ambulacre du même, grossi.

— 15. Aire interambulacraire du même, grossie.

Digitized by Google

PLANCHE IV.

Figure 1. **Gauthieria Brocchi** Lambert, du poudingue de la Malogne; vu en dessus (coll. Peron).

— 2. Le même, vu de profil.

— 3. Le même, vu en dessous.

— 4. Aire interambulacraire du même, grossie.

— 5. Ambulacre du même, grossi.

— 6. **Cyphosoma Inops** Lambert. Radiole de la craie phosphatée de Ciply, grossi au double (Musée de Bruxelles).

— 7. **Cyphosoma Rutoti** Lambert. Radiole de la craie phosphatée de Ciply, grossi au double (coll. Peron).

— 8. Coupe du même, même grossissement.

— 9. **Echinocorys belgicus** Lambert, de la craie phosphatée de Ciply; vu de profil (Musée de Bruxelles).

— 10. Le même, vu en dessus.

— 11. **Caratomus peltiformis** Wahlenberg, variété **belgica**, de la craie phosphatée de Ciply; vu en dessus.

— 12. Le même, vu de profil.

— 13. Le même, vu en dessous.

— 14. Péristome grossi du même.

— 15. **Caratomus Rutoti** Lambert, du poudingue de la Malogne; vu en dessus (Musée de Bruxelles).

— 16. Le même, grossi.

— 17. Le même, vu en dessous.

— 18. Le même, grossi.

— 19. Le même, vu de profil.

Digitized by Google

PLANCHE V.

Figure 1. **Nucleopygus coravium** Defrance; adulte, grossi au double, du calcaire à Baculites de Fresville; vu en dessus (coll. Lambert).

— 2. Le même, vu de profil.

— 3. Le même, vu en dessous.

— 4. Péristome du même, très grossi.

— 5. **Caratomus sulcatoradiatus** Goldfuss, de la craie phosphatée de Ciply, vu en dessus (Musée de Bruxelles).

— 6. Autre individu de la même espèce, vu en dessous (coll. Peron).

— 7. Le même, vu de profil.

— 8. **Nucleopygus coravium** Defrance, jeune, du calcaire à Baculites de Fresville; vu en-dessus (coll. Lambert).

— 9. Le même, grossi.

— 10. Le même, vu de profil.

— 11. **Nucleopygus coravium** Defrance, jeune, de la craie phosphatée de Ciply; vu en dessus (Musée de Bruxelles).

— 12. Le même, grossi.

— 13. Le même, vu en dessous.

— 14. Le même, vu de profil.

— 15. **Echinocorys vulgaris** Breynius, variété **Ciplyensis**, de la craie de Spiennes; vu de profil (Musée de Bruxelles).

— 16. Le même, vu en dessus.

— 17. **Lychnidius scrobiculatus** Goldfuss (*s.* **Nucleolites**) du poudingue de la Malogne; vu en dessus (Musée de Bruxelles).

— 18. Le même, grossi.

— 19. Le même, vu en dessous.

— 20. Le même, vu de profil.

— 21. Le même, vu par la face postérieure.

— 22. Péristome du même, grossi.

Digitized by Google

EXPLICATION DES COUPES DE LA PLANCHE VIII-IX.

Coupe de Matadi à Léopoldville.

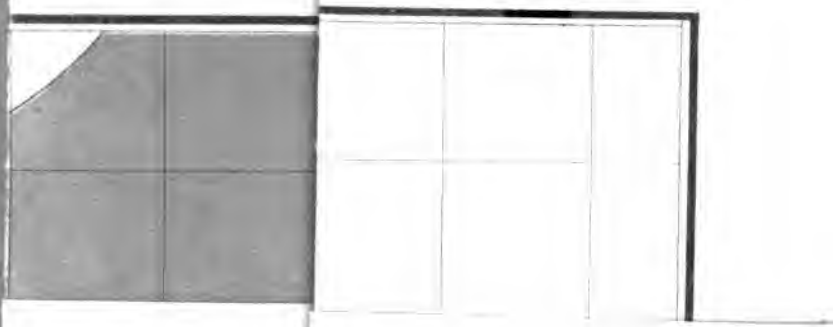
Coupe de Livituku à Kinchassa.

1. Terrains archéens.
2. Terrains primaires métamorphiques.
3. Terrains schisto-calcareux.
4. Système de la Mpioka.
5. Système de l'Inkissi.
6. Grès tendres du Haut-Congo.

Digitized by Google

Digitized by Google

Planche I.



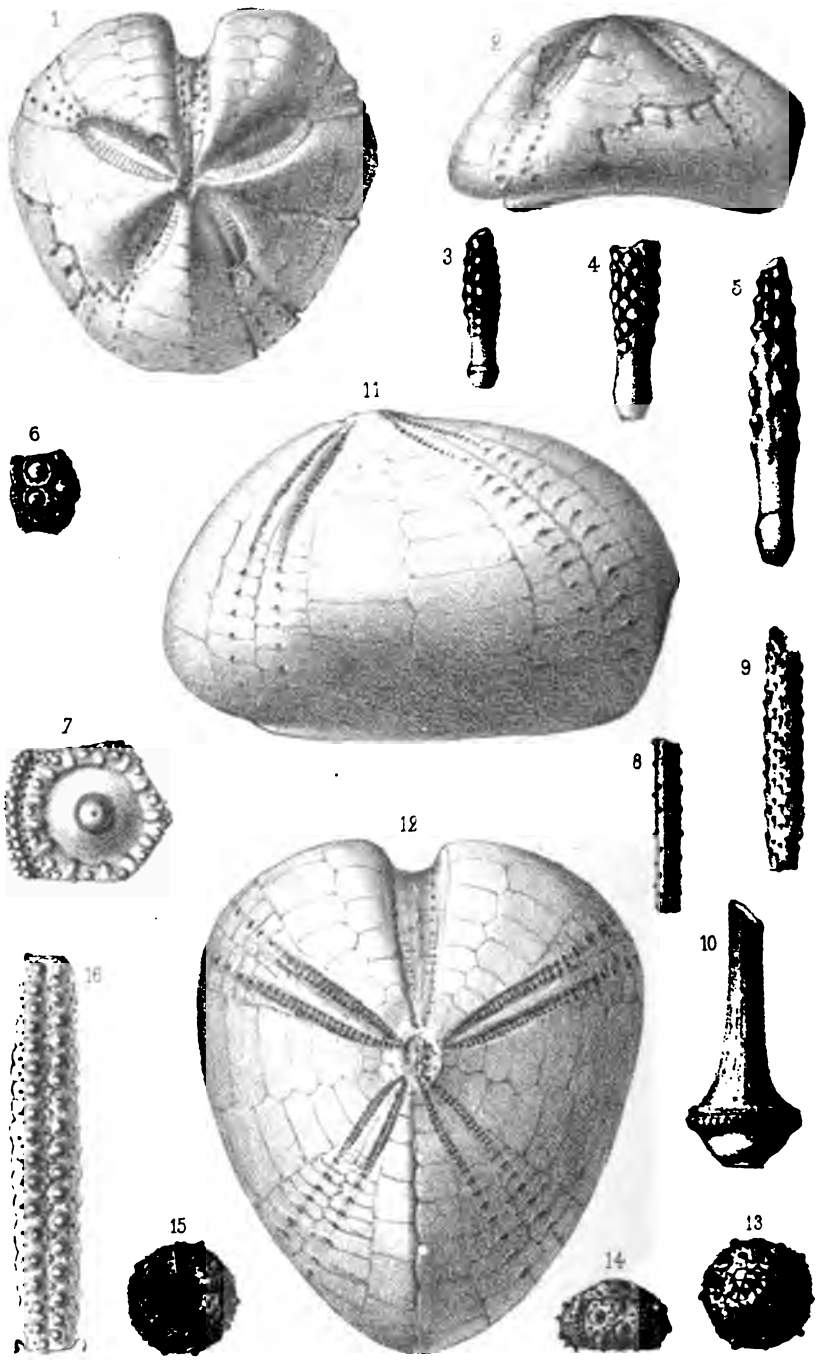
Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

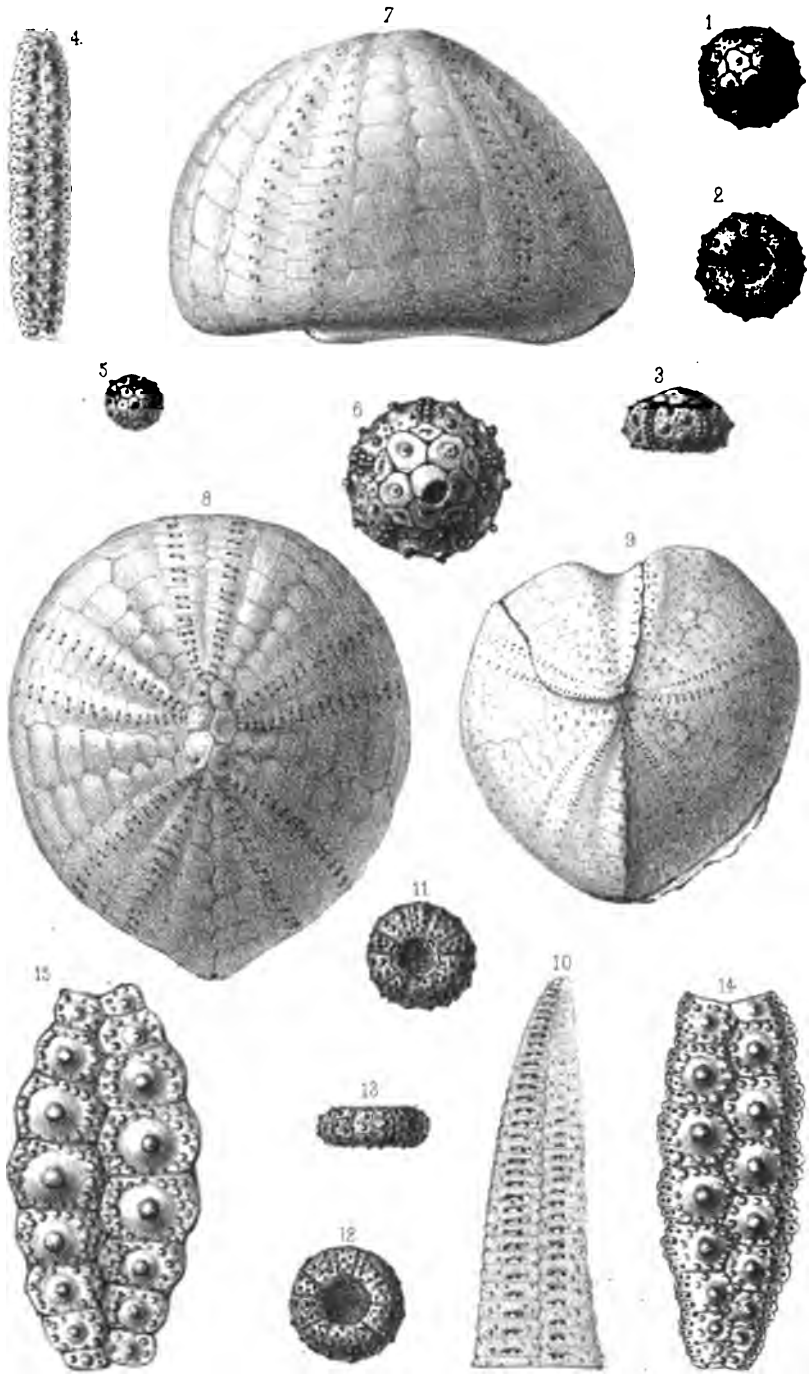
Digitized by Google



F. Gauthier ad nat. del. lith. Imp. Ed. Bry Paris

J. LAMBERT — ECHINIDES DE LA CRAIE DE CIPLY

Digitized by Google



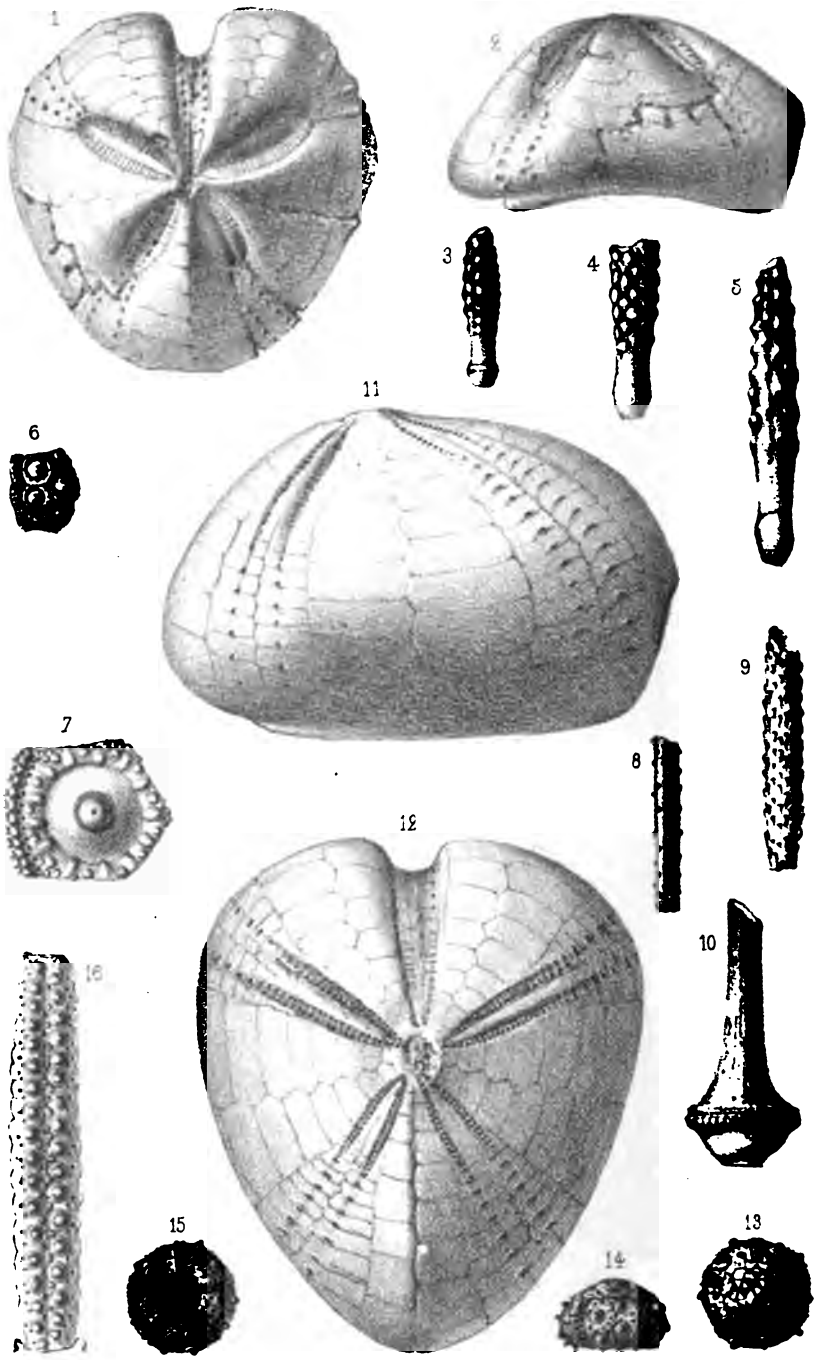
F. Gauthier ad nat. del. lith. Imp. Ed. Bry Paris

J. LAMBERT. — ECHINIDES DE LA CRAIE DE CIPLY

Digitized by Google

Digitized by Google

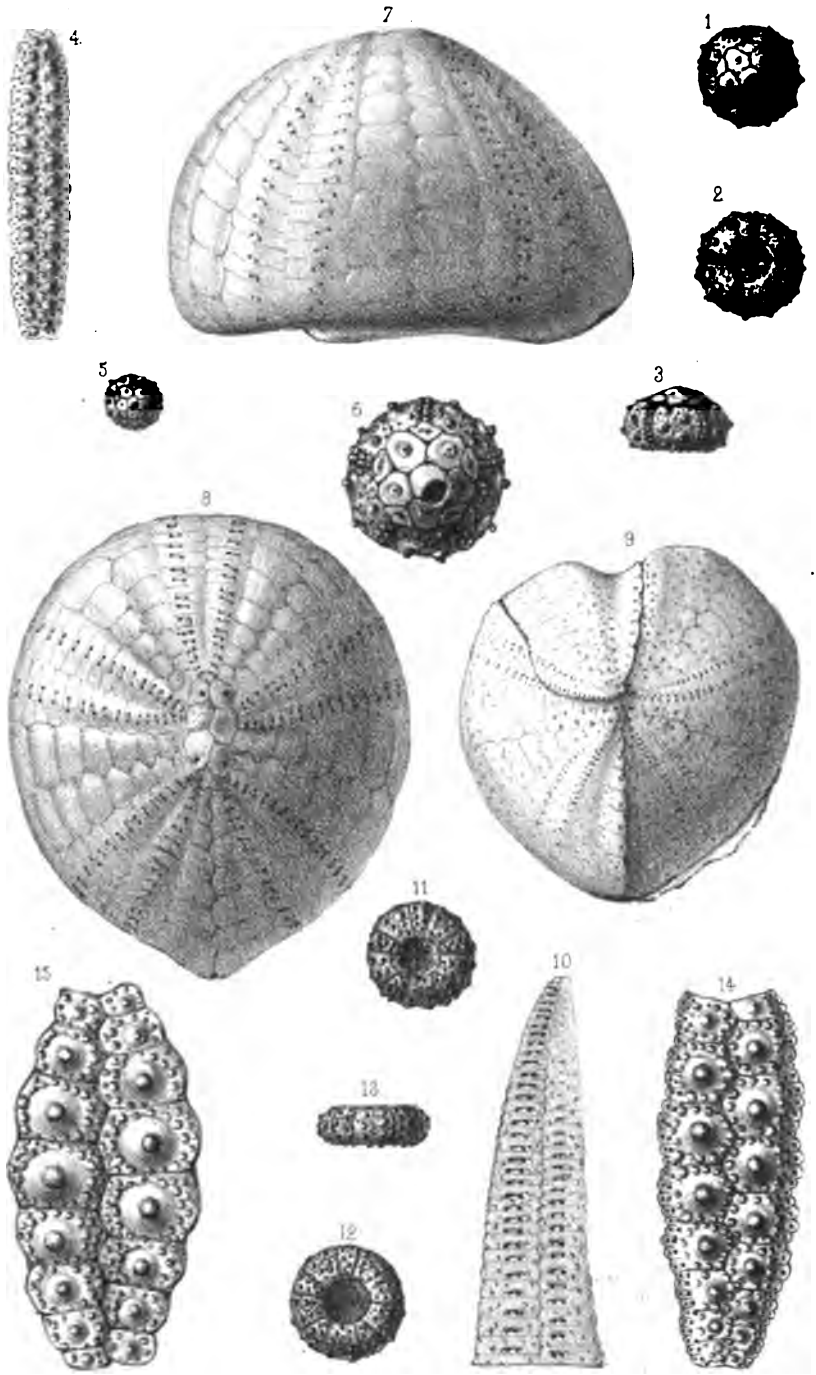
Digitized by Google



F. Gauthier ad nat. del. lith. Imp. Ed. Bry Paris

J. LAMBERT — ECHINIDES DE LA CRAIE DE CRIM.

Digitized by Google



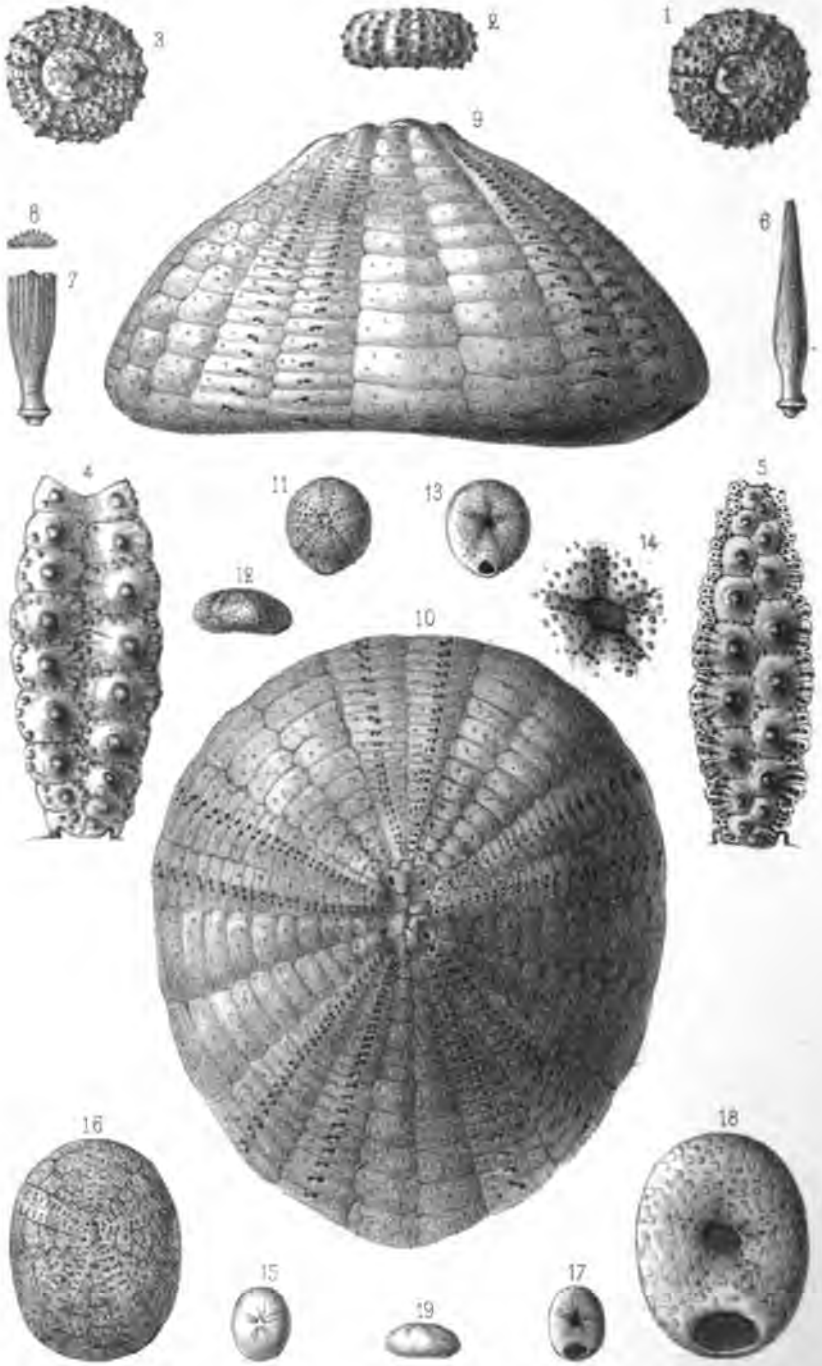
F. Gauthier ad nat del. lith. Imp. Ed. Bry Paris

J. LAMBERT. — ECHINIDES DE LA CRAIE DE CIPLY

Google

Digitized by Google

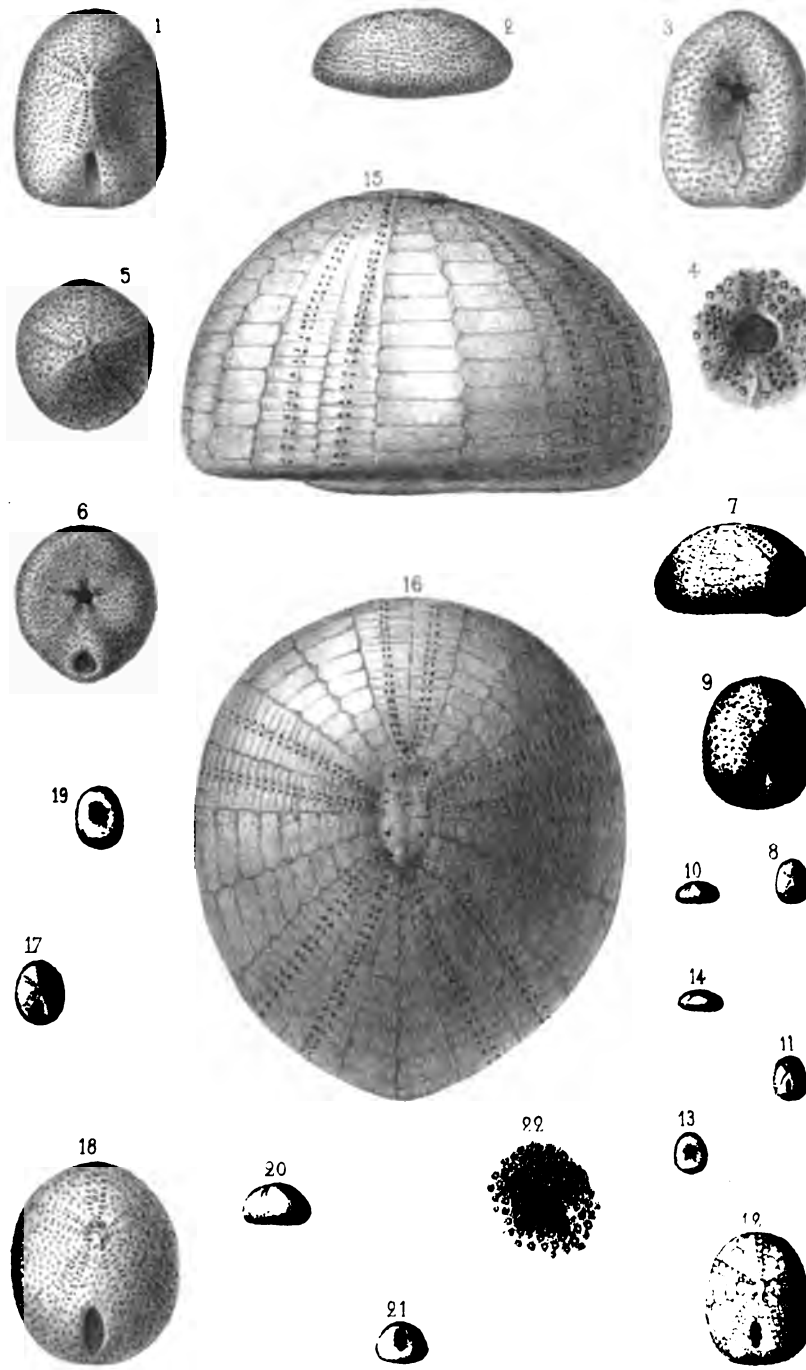
Digitized by Google



F. Gauthier ad nat del-lith. Imp. Ed. Bry, Paris

J. LAMBERT — ECHINIDES DE LA CRAIE DE CIPLY

Digitized by Google



F. Gauthier ad. nat. del. lith. Imp. Ed. Bry Paris

J. LAMBERT. — ECHINIDES DE LA CRAIE DE CIPLY

Digitized by Google

Digitized by Google

Les ha
Les ha
Les ha
Les ha
La *Hü*

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

a — Ma

Keng

Kibaka

r Kisa

Cre

Nsona

Kiasi

a

Digitized by Google

Digitized by Google

LOGIQU

ues ou terri

TORAL (lcaire)	TYP
	Pouding. d'A
noiden-Kalk.	Grauwacke d
de Nehou.	Spiriferen-Sa
les Asturies.	Pouding. de
	Lynton-sands
	Grès d'Anor e
	Psammite de
	Pouding. de l
. interrupta	Downton-san
his biloba.	Coniston-grey
	May-Hill-sand
les.	Oncida-congl
es.	Caradoc-sand
	Grès de May
	Quartzite D_2
de Bohême.	Arenig-flagst
	Grès armoric
ays de Galles.	Upper Potsda
s.	Grès pourpré
les.	Solva-sandsto
ême.	
	Harlech-sands
(Wales).	Grès à *Eophy*

uprifères de Lake-superior (

paragmitique de Scandinavie

merat cristallin de Mittweid

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 03647 8535

Digitized by Google